

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи



САФИТРИ ДИКА АЮ

**ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ
ПОБЕРЕЖЬЯ СУРАБАИ (ИНДОНЕЗИЯ)**

СПЕЦИАЛЬНОСТЬ

1.6.21. Геоэкология (географические науки)

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Научный руководитель:
доктор географических наук, доцент
Беспалова Людмила Александровна

Ростов-на-Дону – 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ В РАЙОНЕ СУРАБАИ	12
1.1 Географическое положение.....	12
1.2 Геология и рельеф города Сурабаи	14
1.3 Климат	16
1.4 Гидрологические условия в Сурабае.....	19
ГЛАВА 2 ЭКОНОМИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СУРАБАИ.....	28
2.1 Демографические особенности Сурабаи	28
2.2 Отрасли промышленности в Сурабае (Industry)	32
2.3 Отрасли сельского хозяйства в Сурабае.....	36
2.3.1 Растениеводство	36
2.3.2 Животноводство	38
2.3.3 Рыболовство	38
2.4 Региональная транспортная система	40
2.5 Отдых и туризм	43
ГЛАВА 3 МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	48
3.1 Данные исследований	48
3.2 Инструменты исследования	48
3.3 Этапы исследования.....	49
3.3.1 Стадия обработки геоморфологических изменений береговой линии.....	49
3.3.2 Этап обработки скорости и прогноз изменения береговой линии	52
3.3.3 Этап управления изменениями земельного покрова	56
3.3.4 Стадия обработки влияния изменений береговой линии и растительного покрова на социально-экономические аспекты.....	60
ГЛАВА 4 . ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ (ГИС) ДЛЯ МОНИТОРИНГА БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ И ЗЕМЕЛЬНОГО ПОКРОВА	65
4.1 Состояние проблемы исследования продвижения береговой линии и мангровых лесов	65

4.2 Результаты исследования динамики береговой линии	69
4.2.1 Изменение береговой линии в Сурабае	75
4.2.2 Прогноз изменения береговой линии в прибрежных районах Сурабаи	80
4.3 Результаты классификации земельного покрова побережья за 1994-2018 гг.	85
4.3.1 Результаты наблюдений за состоянием земельного покрова с помощью спутниковых снимков «Sentinel-2» в 2018 г.	89
4.3.2 Оценка точности	92
4.3.3 Феномен изменения земного покрова в зонах аккумуляции и размывана побережье Сурабаи	93
4.4 Влияние изменений геоэкологии прибрежных районов на социально-экономические процессы	98
4.4.1 Изменение земельного покрова и его связь с социально-экономическими условиями	98
4.4.2 Анализ городского района в прибрежной Сурабае.....	100
4.4.3 Анализ класса «пруды» на побережье Сурабаи	102
4.4.4 Экономический анализ сектора рыболовства в Сурабае.....	105
4.4.5 Классификация прибрежных мангровых лесов Сурабаи	109
4.4.6 Расчет биомассы и накопления углерода.....	115
ГЛАВА 5. ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ СУРАБАЯ ПО СТЕПЕНИ ПРОЯВЛЕНИЯ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ (ПТП)	120
5.1 Оценка антропогенного давления на прибрежные районы Сурабая.....	120
5.2 Классификация земель прибрежной зоны Сурабая по степени антропогенной нагрузки.....	125
5.3 Ранжирование прибрежной зоны по интенсивность проявления опасных береговых процессов (ОБП)	131
5.4 Зоны прибрежной зоны Сурабая по степени проявления природно-техногенных процессов	134
5.5 Рекомендации по минимизации проявления природно-техногенных процессов	138
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	145
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	150

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования. Сурабая – второй по значению после Джакарты индустриальный и деловой центр Индонезии. Здесь расположены крупные предприятия машиностроительной, текстильной, химической и нефтеперерабатывающей промышленности. Экологическими проблемами региона являются в первую очередь промышленное загрязнение воздуха и воды в городских районах, вырубка мангровых лесов, эрозия почв, разрушение берегов. Актуальность проведения настоящего исследования связана с высокой социальной и экологической значимостью решения проблемы обеспечения приемлемого уровня экологической безопасности на урбанизированных территориях, расположенных в прибрежной зоне.

Цель исследования – геоэкологический анализ состояния побережья Сурабая, Индонезия на основе данных дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) с использованием анализа географической информационной системы (ГИС).

Задачи исследования

- проанализировать природные условия г. Сурабая и его прибрежной зоны;
- дать экономико-географическую характеристику г. Сурабая;
- выполнить анализ методических решений к задаче пространственного анализа изменения береговой линии Сурабая и классов землепользования с использованием одновременных космоснимков и ГИС-технологий и разработать этапы проведения исследования;
- выполнить мониторинг прибрежной зоны г. Сурабая на основе анализа изменения классов землепользования под воздействием природных и антропогенных факторов, и с учетом состояния мангровых лесов с использованием; дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) и ГИС-технологий;
- провести интегральную геоэкологическую оценку прибрежной зоны Сурабая по степени проявления природно-техногенных процессов (ПТП).

Объект исследования –прибрежная зонаСурабаи.

Предмет исследования – продвижение береговой линии, включая прогноз, под воздействием природных и антропогенных процессов; классы земной поверхности побережья Сурабаи; геоэкологическая оценка побережье,

Соответствие диссертационного исследования паспорту специальности.

Тема научной работы соответствует паспорту специальности 1.6.21. Геоэкология. В связи с изучением и оценкой состояния процессов, происходящих на объекте исследования, а также применением современных методов картирования, исследование по данной тематике полностью отвечает следующим пунктам паспорта специальности:

1.13. Динамика, механизм, факторы и закономерности развития опасных природных и техноприродных процессов, прогноз их развития, оценка опасности и риска, управление риском, превентивные мероприятия по снижению последствий катастрофических процессов, инженерная защита территорий, зданий и сооружений.

1.17. Геоэкологическая оценка территорий. Современные методы геоэкологического картирования, информационные системы в геоэкологии. Разработка научных основ государственной экологической экспертизы и контроля.

Научная новизна диссертационного исследования состоит в том, что впервые для Сурабаи выполнена комплексная геоэкологическая оценка прибрежной зоны с применением данных космического мониторинга и ГИС-технологий:

–выявлены зоны интенсивного размыва и аккумуляции на побережье Сурабаи;

–получены скорости продвижения береговой линии за многолетний период и дан прогноз изменения береговой линии Сурабаи;

–проведен анализ изменений классов земной поверхности побережья Сурабаи под влиянием природных и антропогенных факторов;
–установлен ареал распространения мангровых зарослей на побережье Сурабаи и выполнена оценка количества их биомассы и запасов углерода в прибрежной зоне;
- выполнена интегральная геоэкологическая оценка прибрежной зоны Сурабая по степени проявления природно-техногенных процессов (ПТП).

Практическая значимость

Результаты исследования могут быть положены в основу мониторинга изменений береговой линии, ландшафтов побережья, а также мониторинга состояния мангровых зарослей на побережье Сурабаи. Результаты интегральной геоэкологической оценки могут быть использованы при пространственном планировании прибрежных территорий с учетом антропогенного воздействия и при эффективном управлении землепользованием и развитием инфраструктуры для снижения рисков и укрепления экологической устойчивости. Материалы диссертации могут быть использованы при разработке курса лекций по комплексной геоэкологической оценке сложных социально-экономических систем для студентов университета Сурабаи и Южного федерального университета.

Достоверность результатов. Автором с помощью данных дистанционного зондирования (снимки Landsat и Sentinel за 24 года исследований) в программе ENVI 4.6 выполнена оценка продвижения береговой линии под воздействием природных и антропогенных факторов, выделены типы поверхностей, выполнена классификация рода мангровых зарослей и оценка общей биомассы с использованием машинного обучения SmileRandomForest в программном обеспечении Google Earth Engine; выполнен анализ картографических данных с использованием технологии ГИС в программном обеспечении ArcGIS 10.3.

Исходный материал и личный вклад автора. В этом исследовании используются данные спутниковых изображений Landsat и Sentinel, которые были

получены из фондов Геологической службы США; местоположение Сурабаи для Landsat: широта 118, долгота 65; для Sentinel: T49MFN(таблица 1.2).

Таблица 1.1 - Типы используемых данных

№	Данные	Источник	Годы исследований	Тип данных	Вид данных
1.	Изображение Landsat 5	USGS	1994	Пространственные данные	Электронная копия
2.	Изображение Landsat 7 ETM +	USGS	2003, 2011, 2012	Пространственные данные	Электронная копия
3.	Landsat OLI 8	USGS	2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018.	Пространственные данные	Электронная копия
4.	Sentinel 2	USGS	2016, 2017, 2018	Пространственные данные	Электронная копия
5.	Визуальная карта Земли г. Сурабая	Агентство геопространственной информации (АГИ) Индонезии	2017	Пространственные данные	Электронная копия
6.	Данные о ветре в г. Сурабае	Агентство метеорологии, климатологии и геофизики (АМКГ) ТанджунгПерак, г. Сурабая	2016, 2017, 2018	Пространственные данные	Электронная копия
7.	Сурабая в цифрах	Центральное статистическое агентство (ЦСА) провинции Восточная Ява и ЦСА Сурабаи	1994, 1996, 2003, 2011-2018	Непространственные данные	Печатная копия

Комплексный характер исследований определил необходимость применения методов, используемых в геоэкологии, геоморфологии морских берегов (экспедиционных, картографических, расчетных), статистических методов обработки информации, сравнительно-географического метода, ГИС технологии и методов дистанционного зондирования Земли, с использованием машинного обучения SmileRandomForest в программном обеспечении Google Earth Engine (GEE). Все исследования основаны на данных ДЗЗ, технологии ГИС,

классификации рода мангровых зарослей и оценки общей биомассы с использованием машинного обучения SmileRandomForest в программном обеспечении Google Earth Engine (GEE). Для верификации данных ДЗЗ проводились полевые подспутниковые наблюдения.

Апробация работы и публикации.

По теме диссертации опубликовано 18 печатных работ, из них в ведущих рецензируемых изданиях, соответствующих перечню ВАК и Scopus – 7.

Публикации в журналах из списка ВАК:

1. **Сафитри Д.А.,** Беспалова Л.А. Беспалова Е.В. Исследование геоморфологических изменений береговой линии Сурабай, Индонезия с использованием данных дистанционного зондирования // Наука Юга России. - 2020. - Т. 16., № 4. - С. 19–25.
2. **Safitri D.A.,** Bespalova L.A., Bioresita F., Nugroho R.T. Detecting coastline change in the Surabaya coastal areas using remote sensing method // Наука Юга России.- 2021. - Т. 17., № 3. - С. 10–17 (in English).
3. **Safitri D.A.,** Bioresita F., Nugroho R.T., Bespalova L.A, Ramadaningtyas N., Sobarman F.A. Mapping and monitoring of mangrove area in surabaya (Indonesia) in the period of 1994–2018 using landsat satellite data and google earth engine. Наука Юга России. – 2023. – Т. 19., № 1. – С. 51-58.
4. **Сафитри Д.А.,** Беспалова Л. А., Глушко А.Е. Геоэкологическая оценка степени проявления природно-техногенных процессов (на примере прибрежной зоны Сурабая в Индонезии) // Успехи современного естествознания. – 2024. – № 12. – С. 63-69.

Публикации Scopus:

5. **Safitri D.A.,** Bespalova L.A., Wijayanti F. Changes in Land Use in Eastern Surabaya, Indonesia, and Their Impact on Coastal Society and Aquaculture // R-ECONOMY. – 2019. - №5(4). - С. 198-207. DOI:10.15826/recon.2019.5.4.020 (in English).

6. **D.A. Safitri**, L.A. Bepalova, F. Bioresita, R.T. Nugroho. Land Cover Amendment in Coastal Areas of Surabaya due to Coastline Change based on Multi-temporal Satellite Imagery. Review of International Geographical Education Online. – 2021. - №11(5). - С. 2570-2580. DOI:10.48047/rigeo.11.05.154 (in English).

Публикации в Индонезии (SINTA):

7. **Safitri DA**, Bioresita F, Tri Andjarwati, Bepalova LA, Seto Kusuma, Ramadaningtyas. 2022. The Socioeconomic Effect of Changes in Coastal Areas: A Case Study of Coastal Areas in Surabaya. // Journal of Extrapolasi – 2022. - №19(2). С.106-120. (in English).

Основные положения и результаты исследований докладывались на:

1. XV Ежегодной научной конференции молодых ученых «Вклад молодых ученых Южного макрорегиона в реализацию Стратегии развития Российской Федерации: цели, задачи, результаты» (г. Ростов-на-Дону, 15-26 апреля 2019 г.), ЮНЦ РАН;
2. международном молодежном научном форуме «ЛОМОНОСОВ-2019», (г. Москва, 2019 г.), МГУ;
3. научно-практической конференции «Системный подход к рациональному природопользованию регионов России» (г. Туапсе, 10–13 декабря 2019 г.);
4. XVI Ежегодной молодежной научной конференции «Юг России: вызовы времени, открытия, перспективы» (г. Ростов-на-Дону, 13 - 28 апреля 2020 г.). – ЮНЦ РАН;
5. Virtual International conference on tackling coastal erosion «Adapting to the Coastal Zone Challenges and Risks: Innovative Approaches and Solutions for Local and Regional Authorities in the Balkans-Mediterranean Region» (Greece Online, 18-19 June 2020 г.);
6. IX International Scientific and Practical Conference «Environmental Problems. Looking Into TheFuture» (Rostov-on-Don. October 22-23, 2020);

7. XVIII Ежегодной молодежной научной конференции «Наука Юга России: достижения и перспективы» (г. Ростов-на-Дону, 18-29 апреля 2022 г.). - ЮНЦ РАН;

8. Physics and Mechanics of New Materials and Their Applications. International Conference (PHENMA 2023) (Surabaya, Indonesia, October 03-08, 2023) (in English);

9. Sustainability of Forest City for IKN. Konferensi Nasional Teknik Sipil (KoNTekS 17) (Balikpapan, Indonesia, November 16-18, 2023);

10. XXIX Coastal Conference «Field-Based and Theoretical Research In Shore Use Practice» (Kaliningrad, April 18–24, 2022);

11. Международная научно-практическая конференция Экология. Экономика. Информатика. Проблемы управления прибрежными территориями для обеспечения экологической безопасности и рационального природопользования посвященная 20-летию кафедры океанологии ЮФУ (базовой кафедры ЮНЦ РАН) и памяти первого заведующего кафедрой, члена-корреспондента РАН Дмитрия Геннадьевича Матишова (09-13 сентября 2024 года, г. Новороссийск, п.Абрау-Дюрсо).

Защищаемые положения:

1. Антропогенные и природные факторы определили существенные преобразования как положения береговой линии в результате процессов размыва и аккумуляции, так и прибрежных ландшафтов -классы городских территорий и прудов стали доминирующими классами на побережье Сурабая.

2. Выявлена тенденция увеличения площади мангровых лесов, их биомассы и запасов углерода на побережье в связи с выполнением государственной программы г. Сурабаи, связанной с пересадкой мангровых лесов (в основном с использованием рода *Rhizophora*).

3. Интегральной геоэологической оценкой, выполненной по комплексу показателей (антропогенное давление, антропогенная нагрузки и интенсивность

проявления опасных береговых процессов) установлено, что на долю с высокой степенью проявления природно-антропогенных процессов приходится 35 % площади прибрежной зоны, средней – 25%, низкой – 40 %.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения и списка литературы. Общий объем работы составляет 163 страницы. Текст сопровождается 48 рисунками и 53 таблицами. Список использованной литературы включает 106 наименований.

Благодарности. Автор выражает глубочайшую благодарность своему научному руководителю Л.А. Беспаловой за помощь в работе, советы и рекомендации. Автор выражает благодарность директору Института наук о Земле ЮФУ А.Н. Кузнецову за советы, данные им в процессе исследования. Автор благодарит и выражает признательность Ф. Биоресите, Р.Т. Нугрохо, Н. Рамаданингтиасу, Ф.А. Собарману, Вишну, и Алдеа., которые помогали автору на всех этапах подготовки диссертации, а также Доре Лизе за помощь в сборе данных в период подспутниковых наблюдений на побережье Сурабаи.

ГЛАВА 1. ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ В РАЙОНЕ СУРАБАИ

1.1 Географическое положение

Город Сурабая – столица провинции Восточная Ява, расположенная между $07^{\circ} 9'$ и $07^{\circ} 21'$ южной широты и $112^{\circ} 36'$ и $112^{\circ} 54'$ восточной долготы. Общая площадь города Сурабаи составляет приблизительно $326,36 \text{ км}^2$, он разделен на 31 район и 154 поселка (подрайона).

Границы города Сурабаи: северная граница – Яванское море и пролив Мадура, южная граница – регентство Сидоарджо, западная граница – регентство Грешика, восточная граница – пролив Мадура (рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – Географическое положение г.Сурабаи.

Топографически большая часть территории города Сурабаи представляет собой низменность с высотой 3-6 метров над уровнем моря с уклоном менее 3 %. Западная часть города имеет уклон 12,77 %, а южная часть – 6,52 %. Обе области представляют собой пологие холмистые местности с высотой 25-50 метров над уровнем моря и уклоном 5-15 %.

Географически город Сурабая расположен ниже по течению реки Брантас, которая впадает в Мадурский пролив. Несколько крупных рек, берущих начало в верхнем течении, протекают через город: река Сурабая, река Мас, река Джагир и река Ламонг. Город Сурабая является зоной подтопления этими реками в сезон дождей [63].

Берега сложены 4 типами горных пород, которые в основном представляют собой глинистые или песчаные отложения. Почвы аллювиальные, часто встречаются почвы с высоким содержанием извести (холмистые участки).

В соответствии со среднесрочным планом развития города на 2016-2021 годы представлена пространственная схема развития Сурабаи [64, 65] :

А. Площадь поселений вертикального колодца в виде квартир эконом класса и кондоминиумов разбросана почти во всех уголках города Сурабая, в то время как площадь поселений направлена на развитие на запад, восток и юг города.

Б. Область деятельности сферы услуг и торговли была сосредоточена в центре города и центрах подрайонов, а также в регионе, который должен стать стратегическим районом экономики, в частности, у подножия моста и в районе Телук-Ламонг.

В. Зона для промышленной деятельности и складирования сосредоточена в прибрежной зоне на севере в районе порта Танджунг Перак и многоцелевого терминала Телук Ламонг, а также к югу от города, который граничит с регионами Гресик и Сидоарджо.

Г. Территории прибрежно-региона имеют различный функционал, в частности, используются для поселения рыбаков, соленых прудов, складирования, военной, судостроительной промышленности, порта, прибрежного туризма, для выполнения функций охраняемых территорий на Восточном побережье Сурабаи, а также для обеспечения логистики (дороги и мосты соединяют город Сурабаю и остров Мадура (Сурамаду), открывают доступ к Суколило Лор – ТХП Кенджеран в центре северо-восточной части города).

Д. Морское пространство Сурабаи используется не только для судоходства, как межостровного, так и международного, но и для деятельности по традиционному рыболовству, туризму в Кенджеране и прилегающих регионах и охраняемых районах моря вокруг Восточного побережья Сурабаи.

1.2 Геология и рельеф города Сурабаи

Топографически город Сурабая на 80 % представляет собой низменность с высотой 3-6 метров над уровнем моря, за исключением южной части, есть два пологих холма в районе Лидах (район Лакарсантри) и Гаюнган высотой 25-50 метров над уровнем моря [105].

Судя по сейсмологическим данным, Сурабая пересекается двумя активными разломами, которые могут вызывать землетрясения в городе и его окрестностях. Первый разлом расположен в зоне субдукции на юге Явы на расстоянии около 300 км к югу от Сурабаи, второй – примерно в 75 км к северо-западу от Сурабая. Кроме того, вокруг города расположены пассивные разломы (разлом Ватукосек, который простирается от горы Пенанггунган до Сидоарджо, гора Лумпур, гора Аньяр и Мадура) [91] (рисунок 1.2). Сурабая находится в зоне сейсмичности класса 5 с PGA (Peak Ground Acceleration) 0,15-0,2 г, это значит, что существует опасность землетрясений [55].

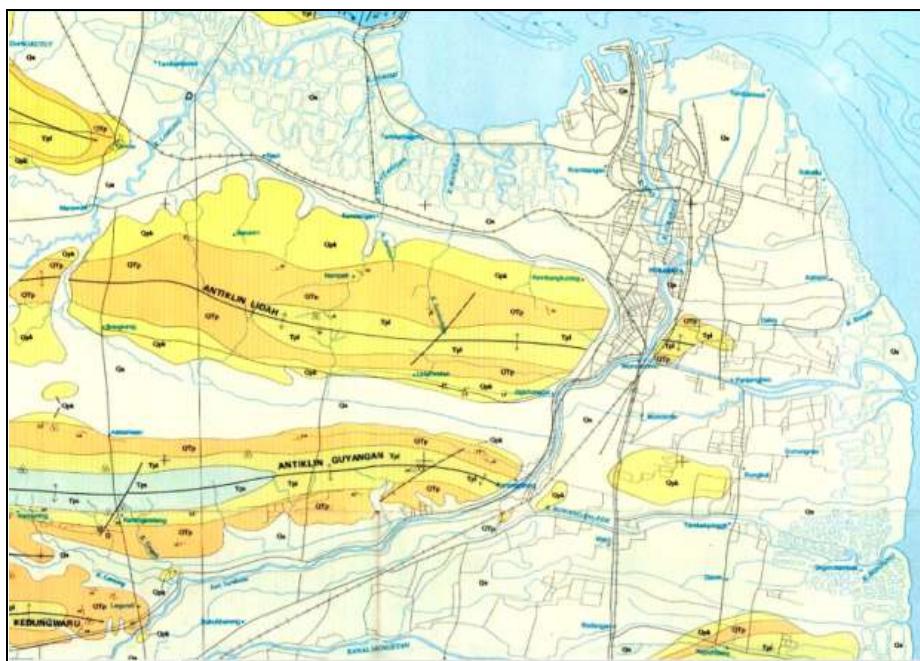


Рисунок 1.2–Геологическая карта Сурабаи, Остров Ява
(источник: Супанджоно и др. [91])

На основании исследования, проведенного Бахри и Мадлазим, по геологическим условиям Сурабая подразделяется на 4 области[26]:

1. Аллювиальные отложения – Aluvial (Qa) распространяются в большинстве районов Сурабая, начиная с севера, юга, востока и в районе побережья, это было подтверждено остатками старых нефтяных скважин в районе формации. Направление с запада на восток, а именно антиклиналь языка и антиклиналь Гуянган, имеют большой потенциал как залежи углеводородов (нефти) в Вонокромо.

2. Лидах – Lidah (Trl) распространен в некоторых районах Вонокромо, Савахан, Гамлет Пакис, Лакарсантри, Виюнги Карангпиланг.

3. Формация Пучанган – Pucangan (Qtp) распространена вокруг центра города, удаляясь на запад и юг, что включает области Дукух Пакис, Савахан, Сукоманунггал Тандес, Виюннг, Лакарсантри, Карангпиланг и Губенг.

4. Формация Кабух – Kabuh (Qpk) охватывает часть подрайонов Рунгкут,

Воноколо, Тенгилис, Виюнг, Карангпиланг, Лакарсантри, Тандес, Сукоманунггал, Беново и Хамлет Пакис.

Есть две антиклинали, которые простираются в направлении с запада на восток, а именно антиклиналь языка и антиклиналь гайангана с большим потенциалом залежей углеводородов (нефти).

Интересным геологическим состоянием в Сурабае является грязевой вулкан Гунунг Аньяр. Его существование связано с залежами нефти и газа, разломными структурами и катастрофами.

1.3 Климат

Как и в других городах Индонезии, в городе Сурабае тропический климат, который состоит из двух сезонов: дождливого и сухого (рисунки 1.3, 1.4). На станции ДжуандаСурабая было отмечено, что средняя влажность воздуха колеблется от 68 до 84 % (рисунок 1.5) при атмосферном давлении от 1010,4 до 1011,6 мм рт.ст. Средняя температура на станции колеблется от 27,8 до 30,5 С (рисунок 1.5), а продолжительность солнечного света от 36 до 89 % [63].

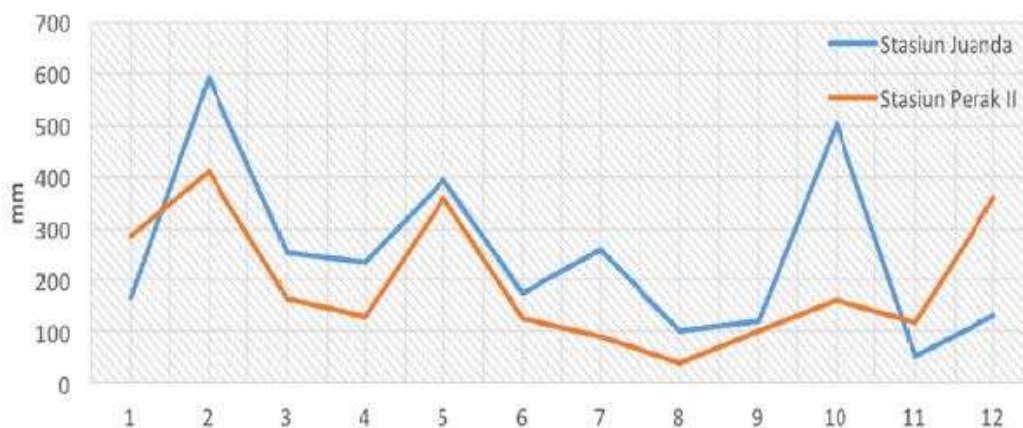


Рисунок 1.3– График осадков в Сурабае в 2016 г.

(Источник: правительство города Сурабаи[63])



Рисунок 1.4– График количества дождливых дней в Сурабае в 2016 г.
(Источник: правительство города Сурабаи[63])

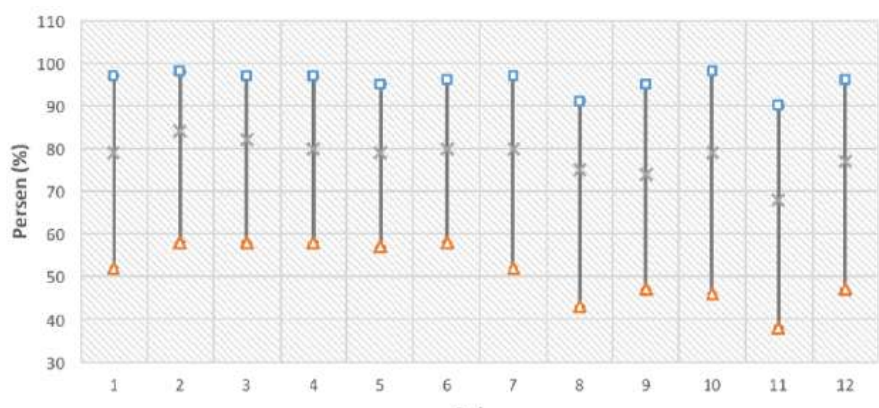


Рисунок 1.5– График влажности воздуха на станции ДжуандаСурабая в 2016г.
(Источник: правительство города Сурабаи[63])

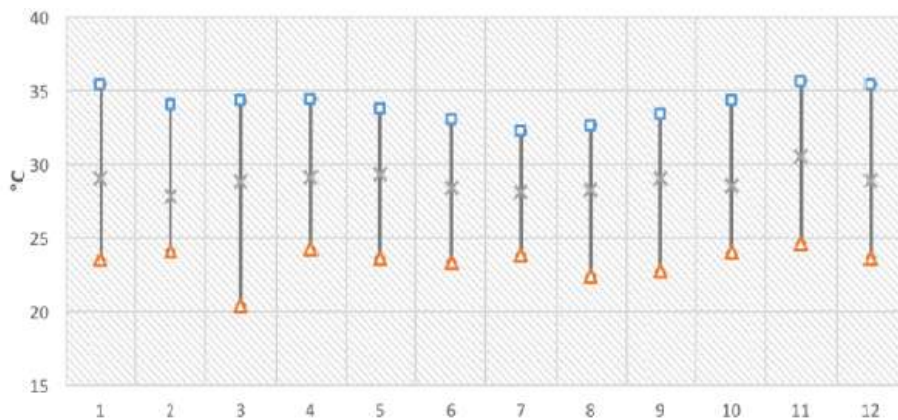


Рисунок 1.6– График температуры воздуха на станции ДжуандаСурабая в 2016 г.
(Источник: правительство города Сурабаи[63])

На станции ПеракIIСурабая средняя влажность колеблется от 60 до 81 % при среднем давлении воздуха от 1007,7 до 1010,9 мм рт.ст. Средняя температура составляет от 28,5 до 30,1 °C(рисунок 1.7), продолжительность солнечного света от 36 до 86 %. Наибольшее количество дождливых дней (25 дней) приходится на февраль (станции Джуанда и ПеракII) и март (станция Джуанда). Среднемесячное количество осадков составляет 248 мм (станция Джуанда) и 195 мм (станция ПеракII– рисунок 1.7). По данным станцииДжуанда выпало более 500 мм осадков в феврале и октябре.



Рисунок 1.7– График температуры воздуха на станции ПеракIIСурабая в 2016 г.

(Источник: правительство города Сурабаи[63])

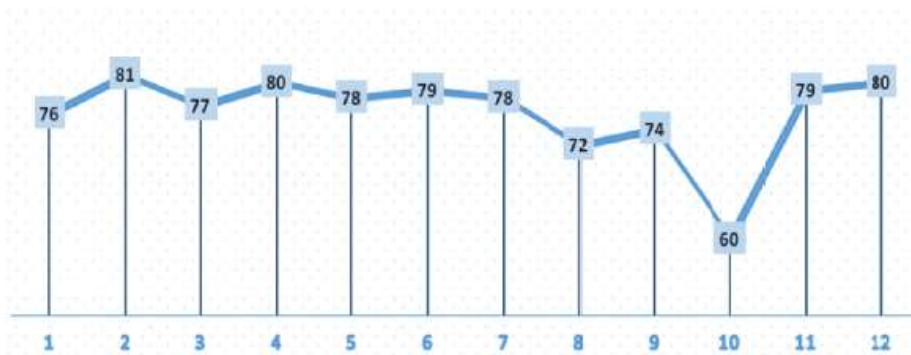


Рисунок 1.8– График влажности воздуха на станции ПеракIIСурабая в 2016 г.(Источник: правительство города Сурабаи[63])

1.4 Гидрологические условия в Сурабае

Сурабая расположена в области устья самой большой реки на острове Ява – реки Брантас, которая имеет множество притоков. Несколько крупных рек, являющихся частью водораздела Брантаса, пересекают Сурабаю (в том числе ручей Сурабая, который затем разделяется на ручьи Мас на севере и Джагир на востоке). Ручей Джагир – это канал, который был построен, чтобы уменьшить поток воды, поступающей в центр города. На западной стороне Сурабаи также протекает большая река Ламонг, которая впадает в Яванское море. Как и район ниже по течению, Сурабая представляет собой зону перелива для сброса воды из текущих рек, что является основной причиной наводнений в сезон дождей [49].

Река в большом городе как правило загрязнена из-за отсутствия мест для утилизации городских отходов. Измерение показателей качества речной воды проводилось на основании Решения Министра окружающей среды № 115 от 2003 года о руководящих принципах определения состояния качества воды. Качество воды водных объектов контролируется с помощью пробы воды водных объектов города Сурабаи с указанием места отбора проб.

Территорию вокруг реки следует развивать, принимая во внимание риск наводнений. По этой причине необходимо создание водопропускных труб. Кроме того, правительство города Сурабаи в «Программе развития Сурабаи (2016)» предлагает максимально повысить эффективности насосных станций и шлюзов, расположенных на реках города Сурабаи, для борьбы с наводнениями [64].

Наряду с насосной станцией нельзя недооценивать функцию шлюзов на ряде рек Сурабаи. Шлюзы на реке служат защитой от наводнений в сезон дождей, а также регулируют высоту сброса воды в сухой сезон. Обычно шлюзовые ворота открываются, когда расход воды повышается, чтобы вода могла течь в другие области и не скапливалась в одном месте. В Сурабае есть один затвор, который

играет очень важную роль, – затвор ДжагирВонокромо. Как только сток воды из реки Брантас поднимается, шлюзы открываются, вода попадет в реку, а затем – в море[84].

Район планирования Гамлета города Сурабаи охватывает территорию площадью ± 33451,14 га, прибрежные и морские районы до 1/3 площади провинции Восточная Ява, территорию и воздушное пространство со следующими границами:

- север: Яванское море и пролив Мадура;
- восток: пролив Мадура;
- юг: район Сидоарджо;
- запад: район Гресик.

Наложение карты наводнений на карту административных границ 31 подрайона Сурабаи до береговой границы показывает, что в зоне подтопления расположено 20 городских деревень. Подрайоны, в дальнейшем именуемые прибрежными районами, включают: РомоКалисари, ТамбакОсовилангун, ТамбакЛангон, Грегес, Калианак, Моро Крембанган, Западный Перак, Северный Перак, Уджунг, Булак Бантенг, Тамбак Веди, КедунгЧовек,Суколилло, Кенджеран,ДукухСутореджо, Калисари, Кепутих, Вонореджо, Медокан Аю, ГунунгАньярТамбак. Затем из 20 подрайонов они делятся на 3 прибрежных региона, каждый из которых отличается следующими функциями (таблица 1.3).

Таблица 1.2- Прибрежные территории и их назначение

№	Прибрежный регион	Подрайон	Назначение
1	Запад	РомоКалисари (RomoKalisari)	– развитие международных контейнерных и грузовых терминалов и их вспомогательных объектов в качестве стратегической экономической зоны в районе залива Ламонг; – оптимизация комплектации международных портов, включая контейнерные терминалы, нефтебазы и железнодорожные пути.
		ТамбакОсовиланган (TambakOswilangun)	
		ТамбакЛангон (TambakLangon)	
		Грегес (Greges)	
		Калианак (Kalianak)	

№	Прибрежный регион	Подрайон	Назначение
---	-------------------	----------	------------

Состояние побережья Западной Сурабаи:



а) береговая линия в подрайоне РомоКалисари



б) квартиры в подрайоне РомоКалисари



в) площадка разгрузки контейнеров в подрайоне ТамбакОсовиланган

№	Прибрежный регион	Подрайон	Назначение
		 <p data-bbox="565 688 1162 726">г) соляной пруд в подрайоне РомоКалисари</p>	
		 <p data-bbox="553 1241 1175 1278">д) лесные мангры в подрайоне РомоКалисари</p>	
		 <p data-bbox="586 1780 1143 1818">е) пруд в подрайоне ТамбакОсовиланган</p>	

№	Прибрежный регион	Подрайон	Назначение
2	Север	Моро Крембанган (MoroKrembangan)	использование и развитие объектов порта ТанджунгПерак в качестве средства морского транспорта, обслуживающего пассажирские и грузовые перевозки в региональном, национальном и международном масштабе; развитие порта как одного из вспомогательных объектов туризма и центра экономической деятельности города.
		Западная Перак	
		Северная Перак	
		Уджунг (Ujung)	
		Булак бантенг (Bulakbanteng)	
		Тамбак Веди (TambakWedi)	
		КедунгЧовек (KedungCowek)	
		Кенджеран (Kenjeran)	
Суколило (Sukolilo)			


Состояние побережья Северной Сурабаи:



а) зона отдыха «Кенпарк» в подрайоне Кенджеран



б) место поклонения «Храм Девы Кван Им» в подрайоне Кенджеран

№	Прибрежный регион	Подрайон	Назначение
			
		<p data-bbox="402 667 1325 705">в) береговая линия «Храма Деви Кван Им» в подрайоне Кенджеран</p> 	
		<p data-bbox="461 1209 1260 1247">г) береговая линия в рыбацкой деревне в подрайоне Булак</p> 	
		<p data-bbox="412 1745 1308 1782">д) береговая линия под мостом Сурамаду, подрайон Тамбак Веди</p> 	

№	Прибрежный регион	Подрайон	Назначение
3	Восток	ДукухСутореджо (DukuhSutorejo) Калисари (Kalisari) Кепутих (Keputih) Вонореджо (Wonorejo) Медокан Аю (MedokanAyu) ГунунгАньярТамбак (GunungAnyarTambak)	<ul style="list-style-type: none"> использование района в качестве места для посадки мангровых деревьев / мангровых зарослей в качестве удерживающего фактора для устранения проблемы наводнений в прибрежных районах.




Состояние побережья Восточной Сурабаи:



а) береговая линия в подрайоне Вонореджо



б) береговая линия в подрайоне Кепутих, покрытая мангровыми зарослями

№	Прибрежный регион	Подрайон	Назначение
		 <p data-bbox="532 638 1192 678">в) сухой пруд в подрайоне ГунунгАньярТамбак</p>  <p data-bbox="578 1129 1146 1169">г) пруд в подрайоне ГунунгАньярТамбак</p>  <p data-bbox="573 1856 1151 1896">д) мангровый лес в подрайоне Вонореджо</p>	

№	Прибрежный регион	Подрайон	Назначение
			
<p>е) мангровый лес в подрайоне ГунунгАньярТамбак</p>			

Выводы: 1. Город Сурабая– столица провинции Восточная Ява, который разделен на 31 район и 154 поселка(подрайона). Границы города Сурабая: северная граница Яванского моря и пролива Мадура, южная граница – Регентство Сидоарджо, западная граница – Регентство Грешика, восточная граница – пролив Мадура.

2. В зоне проникновения морской воды расположено 20 подрайонов. Подрайоны, в дальнейшем именуемые прибрежными районами, включают: РомоКалисари, ТамбакОсовилангун, ТамбакЛангон, Грегес, Калианак, Моро Крембанган, Западный Перак, Северный Перак, Уджунг, Булак Бантенг, Тамбак Веди, КедунгЧовек, Суколилло, Кенджеран, ДукухСутореджо, Калисари, Кепутих, Вонореджо, Медокан Аю, ГунунгАньярТамбак. В свою очередь 20 подрайонов делятся на 3 прибрежных региона (Запад, Север и Восток).

3. Развиваются международные контейнерные и грузовые терминалы и их вспомогательные объекты как стратегические экономические зоны, происходит оптимизация портов (региональный, национальный и международный масштаб). Развивается порт как один из объектов обеспечения туризма и развития экономики.

4. Район мангровых лесов, помимо того, что является туристическим центром, также является исследовательской базой и предотвращает эрозию побережья.

ГЛАВА 2 ЭКОНОМИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СУРАБАИ

2.1 Демографические особенности Сурабаи

Демографические данные в Индонезии собираются путем переписи населения. Перепись населения – это сбор данных о населении на территории Республики Индонезия, за исключением дипломатического корпуса и их семей, в определенное время. Статья 8 Закона № 16 от 1997 года гласит, что перепись населения проводится 1 раз в 10 лет [68].

Перепись проводится одновременно для всего населения, собранная информация включает возраст, рождение, статус рождения, количество детей и так далее (рисунок 2.1, красный цвет - для мужчин, синий - для женщин).

Основываясь на данных «SurabayadalamAngka 2019», население города Сурабаи в 2018 году достигло 2,89 миллиона человек. 49,40 % из этого числа составляют мужчины и 50,60 % – женщины [20] (таблица 2.1).

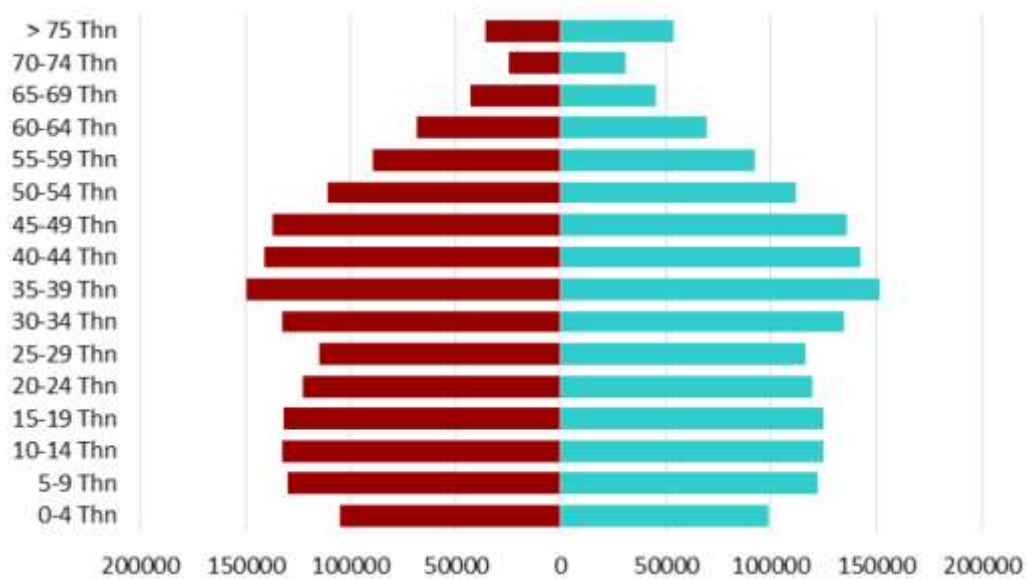


Рисунок 2.1– Население города Сурабаи в 2018 г.
(Ресурс: Statistics of Surabaya Municipality [23])

Таблица 2.1 - Процентная доля населения города Сурабаи 2011-2018 г.
(Ресурс :StatisticsofSurabayaMunacipality [20])

Год	Пол		М+Ж
	М	Ж	
2011	49,39	50,61	100
2012	49,41	50,59	100
2013	49,39	50,61	100
2014	49,38	50,62	100
2015	49,38	50,62	100
2016	49,40	50,60	100
2017	49,40	50,60	100
2018	49,40	50,60	100

Согласно данным региональной статистики города Сурабаи в 2019 году, количество домашних хозяйств составило 789 730 домохозяйств, в среднем около 3-4 человек на одно домашнее хозяйство. Самый высокий процент населения приходится на возрастную группу 20-24 года(10,08 %). Доля населения в этой возрастной группе выше, чем в предыдущем году (10,05 %).Население города Сурабаи продолжает увеличиваться с каждым годом. Рост населения в 2018 году составил 0,38 %, при этом средний темп прироста населения города Сурабаи с 2013

по 2018 год составлял 0,47 % в год. С увеличением числа жителей плотность населения города Сурабаи постоянно увеличивается (таблица 2.2). По оценкам, в 2018 году плотность населения города достигла 8844 человек на км² [21].

Население города Сурабаи с каждым годом увеличивается. В 2000 году население города Сурабаи составляло 2 145 506 человек, в то время как в 2022 году оно составляло уже 2.843.154 человек. Плотность населения составляет в среднем по городу 9017 чел./км². Самая большая численность населения в Восточной Сурабае зафиксирована в районе Тамбаксари (223 906 человек), в то время как самая большая плотность населения зафиксирована в районе Центральной Сурабаи (38 629 чел./км²) [20, 22].

Таблица 2.2 - Площадь и плотность населения по районам
(Ресурс: Центральное статистическое агентство [20, 22])

Район	Площадь, км ²	Плотность чел/м ²		
		1990	2000	2010
Центральная Сурабая				
1. Тегалсари (Tegalsari)	4,29	27,5	21,8	9,9
2. Гентенг (Genteng)	4,05	18,3	13,5	11,4
3. Бубутан (Bubutan)	3,86	28,3	22,8	21,9
4. Симокерто (Simokerto)	2,59	37,879	32,579	30,571
Северная Сурабая				
5. ПабеанЧантикан (PabeanCantikan)	6,8	20,9	10,7	10,2
6. Семампир (Semampir)	8,76	19,6	17,6	17,3
7. Крембанган (Krembangan)	8,34	14,3	13,7	12,7
8. Кенджеран (Kenjeran)	7,77	5,9	9,1	21,4
9. Булак (Bulak*)	6,72	–	–	5,6
Восточная Сурабая				
10. Тамбаксари (Tambaksari)	8,99	21,0	21,0	22,8
11. Губенг (Gubeng)	7,99	19,6	16,6	16,0
12. Рунькут (Rungkut)	21,08	4,0	5,3	5,7
13. ТенггилисМеджоё (TenggilisMejojo)	5,52	–	13,8	13,1
14. ГунунгАньяр (GunungAnyar)	9,71	–	5,3	6,4
15. Суколило (Sukolilo)	23,36	3,9	4,2	5,0
16. Мулиореджо (Mulyorejo)	14,21	–	6,0	6,7

Район	Площадь, км ²	Плотность чел/м ²		
		1990	2000	2010
Южная Сурабая				
17. Савахан (Sawahana)	6,93	30,1	27,2	24,8
18. Вонокром (Wonokromo)	8,47	20,8	17,3	15,8
19. Карангпиланг (Karangpilang)	9,23	4,6	7,7	7,9
20. ДукухПакис 21. (DukuhPakis)	9,94	–	5,8	6,5
22. Виунг (Wiyung)	12,46	–	4,2	5,5
23. Воночоло (Wonocolo)	6,77	7,8	12,0	11,7
24. Гаюнган (Gayungan)	6,07	–	6,6	7,1
25. Джамбанган (Jambangan)	4,19	–	9,4	11,0
Западная Сурабая				
26. Тандес (Tandes)	11,07	5,2	8,4	9,3
27. Сукоманунгал (Sukomanunggal)	9,23	–	11,6	11,0
28. Асемрово (Asemrowo)	15,44	–	2,4	2,8
29. Беново (Benowo)	23,73	0,8	1,5	2,3
30. Пакаль (Pakal*)	22,07	–	–	2,1
31. Лакарсанти (Lakarsantri)	18,99	1,6	2,1	2,7
32. Самбикереп (Sambikerep*)	23,68	–	–	3,407
33. Сумма	326,81	10,1	8,0	8,5

Общая площадь города Сурабаи в 2010 году составляла 326,81 км², в 2015 году она составила 326,46 км²(уменьшилась на 0,35 км²).

В Индонезии признано 6 религий: ислам, католицизм, христианство, индуизм, буддизм, конгучу. На острове Ява ислам стал основной религией. Состав населения Сурабаи в соответствии с принятой религией показывает, что большинство населения Сурабаи – мусульмане.

С 2013 по 2018 год ислам стал самой распространенной религией для жителей города Сурабаи. В 2013 году их насчитывалось 2576576 человек, а в 2018 году – 2 631 003 человека. Общий прирост числа приверженцев ислама составил 54 427 человек. Затем следуют христианство (католицизм), буддизм, индуизм и конфуцианство. Жители Сурабаи имеют разный уровень образования. В общей сложности 976 710 жителей Сурабаи являются выпускниками средней школы (29,22 %).

2.2 Отрасли промышленности в Сурабае (Industry)

Воздействие изменения землепользования и покрытия (Land Use Land Cover - LULC)(анализ землепользования с использованием неконтролируемой классификации) на различные аспекты в Индонезии было предметом нескольких недавних исследований. Arifetal. провели исследование на острове Бех, провинция Ачех, Индонезия, используя изображения Google Earth и ArcGIS для анализа процесса изменения LULC с 2008 по 2018 год [16]. Исследование выявило, что площадь зеленых насаждений значительно уменьшилась и превратилась в застроенную территорию, влияя на морфологию и типологию города Сабанг.

Шарма и др. [89] сфокусировались на районе ПулангПисау в Центральном Калимантане, Индонезия, и использовали Land Change Modeler (LCM) и Integrated ValuationofEcosystem Services andTradeoffs (InVEST) ScenarioGenerator для разработки будущих сценариев LULC с 2015 по 2030 год. Исследование показало, что снижение биоразнообразия было наиболее значительным в сценарии, где продолжают прошлые тенденции изменения LULC.

Сетьорини и др. [87] оценивали влияние изменения LULC и климатической вариабельности на гидрологические процессы в верхнем бассейне реки Брантас, Индонезия, с использованием Soiland Water Assessment Tool (SWAT). Исследование выявило, что как климатическая вариабельность, так и изменения LULC влияют на гидрологические процессы, поэтому рекомендуется учитывать оба аспекта при планировании и управлении водными ресурсами в регионе исследования.

Гандхарум и др. [43] отслеживали урбанизацию и потерю сельского хозяйства на северном побережье провинции Западная Ява, Индонезия, с использованием Google Earth Engine и Intensity Analysis. Исследование выявило, что сельскохозяйственные земли испытывают чистые потери с уменьшением площади сельскохозяйственных угодий в обоих периодах.

Артиканур и др. [19] прогнозировали влияние изменения LULC в регенсеЛамонган на востоке Явы, Индонезия, на баланс сахара в 2031 году. Исследование выявило, что может произойти значительное изменение LULC, что приведет к предполагаемому сокращению площадей посадок сахарного тростника и снижению сахарного баланса в регенсеЛамонган на 10.470,76 тонн в 2031 году по сравнению с 2019 годом. Эти исследования подчеркивают важность понимания и мониторинга изменений LULC и их воздействия на различные аспекты в Индонезии.

Основываясь на данных Госдепартамента по торговле и промышленности города Сурабаи, существует 2 области, а именно сектор торговли (внутренняя торговля и внешняя торговля) и промышленный сектор (химическая промышленность, агропромышленный сектор и лесная продукция; металл, машиностроение, электроника и различные другие отрасли промышленности).

В соответствии с Региональным среднесрочным планом развития (RPJMD) города на 2016-2021 гг., Сурабаяделится на основе пространственной схемы развития на [37,64]:

1. Многоэтажные районы в виде квартир разных типов или кондоминиумов, которые разбросаны почти повсемугороду, жилые районы, что занимают территорию к западу, востоку и югу от города.

2. Сфера услуг и торговые центры- сосредоточены в центре города. Здесь расположены и экономические стратегические области, включая площадь моста Сурамаду и площадь Телук-Ламонг.

3. Площади для промышленной и складской деятельности сосредоточены в северной прибрежной зоне вокруг порта ТанджунгПерак и многофункционального терминала ТелукЛамонг, а также в южной части города, граничащей с округами Гресик и Сидоарджо.

4. Прибрежные площади, особенно земельные участки, используются для различных функций, включают: рыбацкие поселения, соленые и рыбные пруды, складские помещения, военную, судостроительную промышленность, порты,

прибрежный туризм, охраняемые территории на восточном побережье Сурабаи, дороги и мосты, соединяющие город Сурабаю и остров Мадуро (мост Сурамаду) и мост Суколило Лор – ТХП Кенджеран, который открывает доступ в северо-восточной части города.

5. Область морских пространств Сурабаи, которая используется не только для междугородних и международных морских перевозок, но и для традиционной рыбной ловли, прибрежного туризма в Кенджеране, его окрестностях и морских охраняемых районах вокруг восточного побережья Сурабаи.

Город Сурабая имеет несколько стратегических зон, у которых есть потенциал для устойчивого развития, чтобы поддержать существование и развитие городской территории в будущем:

- складско-промышленная зона Маргомудуле в районах Асемрово и Бенново расположена в XI подразделении по развитию ТамбакОсоВилангун. С точки зрения доступности, поскольку он расположен недалеко от порта ТанджунгПерак и платной дороги Сидоарджо–Сурабая–Гресик, промышленная и складская зона Маргомудулио представляет собой стратегическую область, которую необходимо оптимизировать и развивать с ориентацией на интеллектуальную и экологически чистую промышленность, поддерживаемую надлежащей инфраструктурой;

- район Тунджунган и его окрестности в районе Бубутан расположены в подразделении VI по развитию Тунджунгана. Как район торгового и офисного центра он имеет большой потенциал для дальнейшего развития, поскольку он имеет историю и пережил золотой век с 1940-х по конец 1970-х годов. Там располагались торговые улицы и торговые ряды, благодаря чему этот район стал одной из икон города. Эта область требует оптимального для ускорения экономического роста в городе Сурабае;

- площадь под мостом пляжной зоны Сурамаду-Кенджеран и прибрежный район города Булак расположены в подразделении III по развитию Тамбак Веди, которое является стратегическим районом с точки зрения его расположения у подножия

моста Сурамаду и побережья пляжа Булак –Кенджеран. Район имеет большой потенциал для развития как прибрежного, так и морского туризма. Ожидается, что наличие моста Сурамаду и пляжа Кенджеран повысит потенциал и роль города Сурабаи как регионального центра туристической деятельности;

- площадь прибрежного города в районах Асемрово и Беново, которая находится в подразделении развития XI ТамбакОсоВилангун. Это стратегическая площадь с концепцией освоения земель смешанного использования, которая используется для поддержки портовой площади и интегрирована с планом развития многоцелевого терминала ТелукЛамонг в качестве основного портового района ТанджунгПерак;

- интегрированная площадь Западная Сурабая в районе Пакаль в подразделении развития XII Самбикереп; Беново в подразделении развития XI ТамбакОсоВилангон – это интегрированная площадь, центр которой будет развиваться на стадионе ГелораБунг Томо в качестве спортивного центра национального масштаба и будет интегрирован с развитием торговых и сервисных функций в его окрестностях [105].

По данным Центрального агентства по статистике в Сурабае выделяют 4 вида промышленности:

- 1) крупная промышленность, если численность рабочей силы составляет 100 человек или более,
- 2) средняя промышленность, если численность рабочей силы составляет 20-99 человек,
- 3) малая промышленность, если численность рабочей силы составляет 5-19 человек,
- 4) домашняя промышленность, если численность рабочей силы составляет 1-4 человека.

Прибрежная зона города Сурабаи охватывает несколько районов: Северную, Восточную и Западную Сурабаю. По данным Центрального статистического агентства, в Северной Сурабае насчитывается 22 крупных промышленных

предприятия, в Восточной - 68 в Западной – 85 и в Южной Сурабае-33 крупных промышленных предприятия.

В дополнение к крупным отраслям промышленности, в городе Сурабае есть несколько средних отраслей промышленности. По данным Центрального статистического агентства в Северной Сурабае насчитывается 6 средних промышленных предприятий, в Восточной Сурабае – 5, в Западной Сурабае – 9 и в Южной Сурабае- 5 средних промышленных предприятия.

Промышленные районы в городе Сурабае разделены на промышленные зоны. Промышленная зона расположена в районе Рунгкут, Маргомале, Калирунгут, Карангпиланг, Танджунгсари и Калианак. На их долю приходится 9,88% от всей территории города Сурабаи.

2.3 Отрасли сельского хозяйства в Сурабая

2.3.1 Растениеводство

Сурабаянаходится в месте, богатом гумусом, что делает ее территорию пригодной для различных видов сельского хозяйства. Вклад сельскохозяйственной предприятий в Сурабае относительно невелик, учитывая ограниченность сельскохозяйственных угодий в городских районах. Основываясь на данных Статистического агентства Сурабаи за 2009 год, сельское хозяйство в регионе включает выращивание сельскохозяйственных культур, животноводство и рыболовство.

Существует 2 вида растительности, которые выращиваются здесь – рис и палавиджа (вторичные культуры). Виды риса: рис посевной (рисовое поле) и полевой рис. Виды палавиджи: кукуруза, маниока, батат, арахис, стручковая фасоль и соя. Основным продуктом питания в Индонезии является рис. Производство рисовых культур в Сурабае в 2010 году составило 15.937,59 тонны, и с каждым годом оно снижается из-за сокращения земель сельскохозяйственного назначения

(передача землепользования). Так, в 2016 году общий объем производства рисовых растений составил 11851,17 тонны. Сокращение производства риса с 2010 по 2016 год составило 4086,42 тонны.

В дополнение к производству риса в Сурабае ведется производство вторичных культур. Было отмечено несколько видов вторичных культур: кукуруза, маниока, батат, арахис, стручковая фасоль и соя. Наибольшим производством стали посеvy кукурузы, которые в 2012 году составили 277,43 тонны, а в 2018 году – 400,49 тонны. Общий объем производства вторичных культур растет из года в год, в 2012 году он составлял 272,43 тонны, в то время как в 2018 году он составлял 430,74 тонны, так что за 5 лет произошло увеличение на 128,06 тонны.

В Сурабае есть овощеводство (индонезийцы любят острую пищу, так что крупнейшим производством овощных культур является перец чили). В Сурабае производится множество овощей, таких как перец чили, помидоры, шпинат, зеленая горчица, водяной шпинат, арбуз, дыня, тыква. В 2016 году наибольший объем производства пришелся на чили (406,90 тонны), помидоры (157,10 тонны), шпинат (120,50 тонны), зелень горчицы (193,70 тонны), арбуз/дыня/тыква (177,50 тонны). Общий объем производства овощных культур в 2016 году составил 1230,80 тонн (таблица 2.3).

Таблица 2.3 - Производства продовольственных культур по видам (тонн) 2012-2018 год (Ресурс: Статистика муниципалитета Сурабая [20])

Тип растения	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
1. Рис	13.687,41	10.986,57	9.424,38	-	11.851,17	10.568,57	10.130,64
а. Рисовое поле	13.651,65	10.825,45	9.291,48	-	11.092,05	9.765,87	9.327,78
б. Полевой рис	35,75	161,12	132,90	-	759,12	802,70	802,86
2. Палавиджа	402,71	348,57	501,90	1.052,19	596,11	533,30	430,74
а. Кукуруза	272,43	185,09	366,43	948,79	519,20	503,05	400,49
б. Маниока	125,58	143,84	65,27	69,52	8,69	8,69	8,69

Типрастения	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
с. Батат	-	-	36,00	-	-	-	-
d. Арахис	-	1,02	5,40	-	46,66	-	-
e. Маш	3,88	18,62	28,80	33,88	21,56	21,56	21,56
f. Соя	0,82	-	-	-	-	-	-

2.3.2 Животноводство

Животноводство в Сурабае представлено несколькими видами скота и птицы. Скот представлен такими видами как буйволы, коровы (мясного и молочного направления), овцы, козы; домашняя птица – утки и куры (таблица 2.4).

Основываясь на данных Службы продовольственной и сельскохозяйственной устойчивости города Сурабаи за период с 2012 по 2018 год наиболее доминирующим видом домашнего скота являлись козы со средним производством 2133 голов в год. Наиболее широко производимым видом домашней птицы является куры (29022 шт./год).

Таблица 2.4 - Общее производство скота и птицы в Сурабае (2012-2018 гг.) шт/год
(Ресурс: StatisticsofSurabayaMunicipality [20])

Виддомашнегоскота	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Коровы	933	735	614	605	772	642	527
Быки	49	31	27	27	79	22	46
Лошади	-	-	4	-	30	5	44
Козы	3352	3097	2264	1024	1680	1020	2498
Овцы	839	710	187	163	512	52	250
Свинья	-	-	-	-	-	-	-
Утки	5609	4.602	3.157	2.521	6.890	2.028	3.196
Куры	41003	34.097	20325	39471	28389	20249	19623

2.3.3 Рыболовство

Сурабая–прибрежный город, поэтому у него большой потенциал для производства рыбы. Сурабая является производителем морской рыбы и

пресноводной рыбы. С 2007 по 2018 год в 2013 году общий объем производства рыбы достиг наивысшего уровня в 15 832,9 тонны, в то время как в 2014 году он испытал наибольшее снижение при минимальном производстве 7992,89 тонны (таблица 2.5). Большинство видов пресноводной рыбы приходится на прудовое рыбоводство, особенно много прудов в Восточной Сурабае.

В Сурабае выращивают разные виды рыбы, например:

- в пруду для рыбной ловли водятся молочная рыба, белые креветки, тигровые креветки и креветки ваннамеи.
- в местах пресноводного рыболовства водятся тавес, томбро, муджаир и другие виды рыб. Этот вид пресноводных рыб имеет почти одинаковую форму, но разные цвета и форму головы.
- в местах рыболовства водятся несколько видов рыбы, таких как тавес, томбро, муджаир и другие.
- для рыбалки в керамбе (место для выращивания рыбы в клетки из бамбука или деревянных досок, помещенное в русло реки) выращивают тилапию, сома и др.

Таблица 2.5 - Производство морской и пресноводной рыбы (тонны) в Сурабае
(Источник: Statistics of Surabaya Municipality [20])

Год	Моря	Производство рыбы, т				Сумма
		Пруд	Пресноводный	Рыболовы-любители	Аквакультура	
2007	8531,4	7886,1	118,14	256,18	-	8200,47
2008	8863,0	8198,9	169,40	223,40	-	8591,80
2009	9307,1	8608,7	177,80	233,10	-	9019,60
2010	9493,2	9043,3	267,70	244,80	-	9555,80
2011	7119,8	7923,8	923,67	264,55	-	9112,06
2012	7031,1	7593,1	991,86	269,27	143,78	8998,09
2013	7441,2	6906,1	1065,18	273,14	147,21	15832,90
2014	7292,4	6542,0	1033,02	277,02	140,76	7992,89
2015	6840,06	6785,15	1101,27	88,49	139,18	8114,09
2016	10578,30	6915,03	1116,49	93,38	144,82	8114,43
2017	8416,60	6798,68	1133,33	94,00	134,22	8160,23
2018	8151,50	6956,58	1104,94	91,80	138,09	8291,41

В Сурабае в значительное производство и морской рыбы. Согласно данным Службы продовольственной и сельскохозяйственной устойчивости Сурабаи были отмечены такие виды морской рыбы, как анчоусы, сом, ранджунган, скат, кефаль, моллюски, белые креветки, краб, симпинг, гулама, лайур, серебристая рыба, морские огурцы, кальмары и креветки баронг.

2.4 Региональная транспортная система

Транспортная система в Сурабае важна, учитывая, что Сурабая является вторым по величине городом Индонезии после Джакарты. Центральным статистическим агентством собираются данные о наземном транспорте, данные о морском транспорте и данные о воздушном транспорте. Наземный транспорт включает моторизованные транспортные средства, немоторизованные транспортные средства, длинные дороги, железнодорожные транспортные мосты, речные, озерные и пешеходные перевозки. Морской транспорт занимается погрузочно-разгрузочными работами, посещениями судов и пассажиров, перевозками между островами и национальными условиями судоходства. Авиаперевозки – это авиационная деятельность в аэропортах.

До сих пор в городе Сурабая есть 4 станции, которые обслуживают общественный транспорт (автобусы и городской транспорт (ангкот)). Это 2 станций типа А: станции Пурабая и ТамбакОсо Вилангун; 1 станция типа В – станция Джойбойо; 1 станция типа С – станция Братанг. Станция Пурабая является одной из самых загруженных автобусных станций в Индонезии. В 2016 году в Пурабае было 577 820 входящих автобусов и 575 794 исходящих автобуса с 16 151 715 входящими пассажирами [22].

По данным транспортной службы города Сурабаи, с 2013 по 2016 год количество наземного транспорта в Сурабае имело тенденцию к снижению. В 2013 году в городе насчитывалось 4797 общественных транспортных средств, а за четыре года до 2016 года их количество сократилось на 121 (рисунок 2.2).

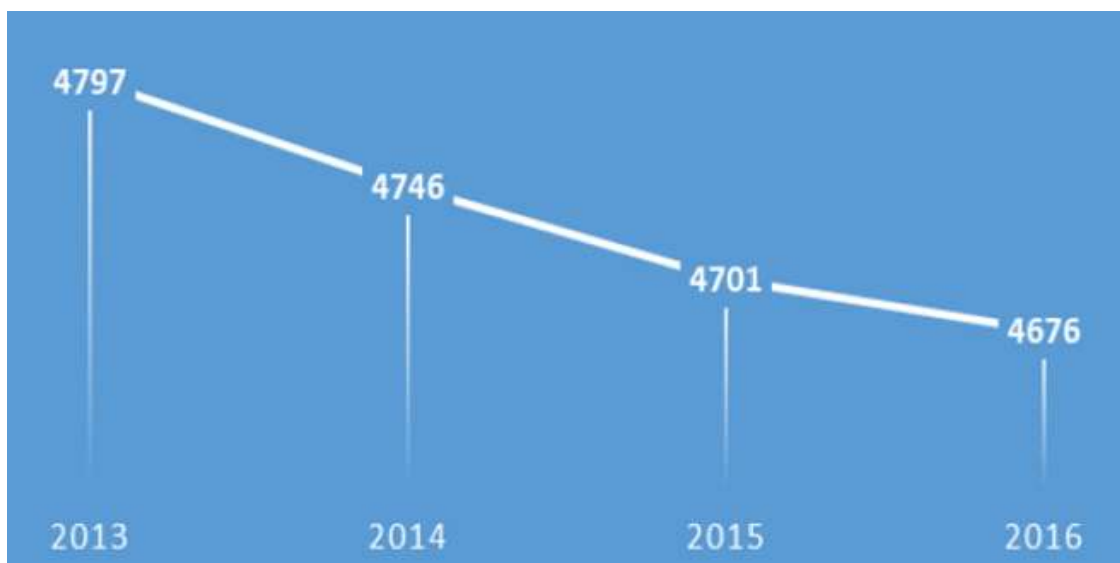


Рисунок 2.2–График тенденции падения количества общественного транспорта в Сурабае(шт.)(Ресурс: Центральное статистическое агентство [22])

Дорожная инфраструктура – это источник бесперебойного движения на суше и способ соединения одного района с другим. Бесперебойное движение транспорта окажет большое влияние на региональную экономику. Схема основной дорожной сети в Сурабае в основном линейная, соединяющая северные и южные районы (ТанджунгПерак-Вару). Система дорожной сети города Сурабаи состоит из системы первичной и вторичной. Система первичной дорожной сети – это сетевая система, которая соединяет основные центры деятельности, такие как морские порты и аэропорты. Система второстепенной дорожной сети соединяет центры деятельности в пределах города. Иерархия двух систем дорожной сети одинакова и состоит из артериальных дорог, коллекторных дорог и локальных дорог (таблица 2.6).

Каждый год количество автомобилей в городе Сурабае увеличивалось. В 2014 году количество автомобилей составило 2.285.382, в 2015 году – 2.361.250. Это несопоставимо с увеличением протяженности дороги города Сурабаи. В 2014 году протяженности дороги достигала 1 679140 метров, в 2015 году протяженность дороги увеличилась только до 1 683116 метров (таблица 2.7). По этой причине необходимы усилия по ограничению использования частных автомобилей с помощью TrafficDemandManagement.

Данные о количестве автомобилей текущем году можно получить в середине следующего года потому, что расчет количества автомобилей (владение) рассчитывается ВРКАД провинцией Восточной Сурабаи (путем расчета налога на транспортные средства в городе Сурабаи), и город/регентство не имеет на это полномочий [20].

Таблица 2.6 - Таблица длины дороги по типам поверхности, классу (2011-2018 гг.) ед.изм.(Ресурс: Центральное статистическое агентство [20])

Описание	2011	2012	2013	2014	2015	2017	2018
1. Тип поверхности							
Мощение	142,37	196,73	196,73	197,28	197,00	-	118,15
Асфальт	1284,28	1427,75	1677,98	1679,31	1678,31	1689,29	5262,59
Гравий	-	-	-	-	-	-	-
Почва	-	-	-	-	-	-	-
Итого	1426,65	1427,76	1677,98	1679,31	1678,64	1689,29	5380,74
2. Состояние дороги							
Хорошее	1381,99	1397,18	1647,55	1649,01	1648,28	1667,87	
Среднее	15,63	4,42	4,40	4,30	4,35	4,27	
Поврежденное	26,79	25,15	25,03	25,00	25,01	17,15	
Большое повреждение	2,23	1,01	1,00	1,00	1,00		
Итого	1426,65	1427,76	1677,98	1679,31	1678,64	1689,29	0
3. Класс дороги							
первичная магистральная дорога	-	-	-	-	-	6,7	105
вторичная магистральная дорога	-	-	-	-	-	48,32	2.772,32
первичная коллекторная дорога	21,12	22,23	23,30	24,63	23,96	20,6	439
вторичная коллекторная дорога	71,80	71,80	71,80	71,80	71,80	80,27	-
локальный	1333,73	1333,73	1528,88	1528,88	1528,88	1533,4	3245,12
специальная дорога	-	-	-	-	-	-	-
неуказан	-	-	-	-	-	-	-
Итого	1426,65	1427,76	1677,98	1679,31	1678,64	1689,29	6561,44

Таблица 2.7 - Сравнение протяженности дороги с количеством автомобилей в городе Сурабае за 2013-2017 гг.(Ресурс :Центральное статистическое агентство [20])

Описание	2013	2014	2015	2016	2017
Длина дорог (м)	1 677 980	1 679 140	1 683 116	1 686 381	1 689 289
Количество автомобилей	2 062 811	2 285 382	2 361 250	-	-

2.5 Отдых и туризм

Сурабая – это город, в котором множество туристических достопримечательностей для местных и иностранных туристов. Несмотря на то, что в Сурабае нет удивительного природного ландшафта, здесь развивается новая модель природного туризма благодаря усилиям по реализации зеленых открытых пространств, омоложение парков и развитие туристических деревень. Городские парки стали альтернативой для местных жителей и туристов, где можно просто расслабиться в красивой атмосфере. На восточной стороне побережья Сурабаи есть Вонореджо – заповедные мангровые заросли, в которых проходят образовательные экскурсии. А в деревне по переработке отходов, люди могут научиться превращать отходы в полезные товары.

На основе данных от Центрального Статистического Бюро города Сурабаи за 2019 год, количество туристов, прибывающих в Сурабаю, намного превысило план. Этот расчет можно увидеть в приведенной таблице 2.8 [22].

Таблица 2.8 - Количество туристических посещений и города Сурабаи в 2009-2018 гг.(Ресурс: Центральное статистическое агентство [20])

Год	Местные туристы	План (%)	Иностранные туристы	План (%)
2009	7 230 202	316	154 866	99
2010	7 544 997	287	168 804	102
2011	9 194 116	120	279 230	160
2012	9 561 881	122	323 037	180
2013	11 122 194	138	350 017	189
2014	15 929 745	192	742 084	388

2015	18 019629	212	853790	435
2016	20 580728	125	772058	100
2017	22 713892		1 569130	
2018	27 575125		1 728194	

Ниже представлены некоторые популярные туристические места Сурабаи, которые являются туристическими достопримечательностями.

1) Мост Сурамаду. По данным Главного управления автомобильных дорог в 2018 году, Национальный мост Сурамаду – это мост длиной 5 438 метров, который пересекает пролив Мадура, этот мост является самым длинным мостом в Индонезии (рисунок 2.3).



Рисунок 2.3– Мост Сурамаду(Ресурс: Авторская документация)

2) Дом Сампуерна «Samproerna». Дом Сампуерна – одна из туристических достопримечательностей Сурабаи. Это бывшая штаб-квартира крупнейшей индонезийской табачной компании НМ Samproerna. Сегодня в колониальном голландском здании XIX века размещаются музей табака, художественная галерея, кафе и сувенирные магазины (рисунок 2.4).



Рисунок 2.4–Дом Сампурна(Ресурс: Авторская документация)

3) Мангровый лес Вонореджо.Мангровый лес – это природное туристическое место в Сурабае. Благодаря тому, что это место находится далеко от городского загрязнения, мангровые заросли представляют собой совершенно особую, отличную от других лесов экосистему (рисунок 2.5).

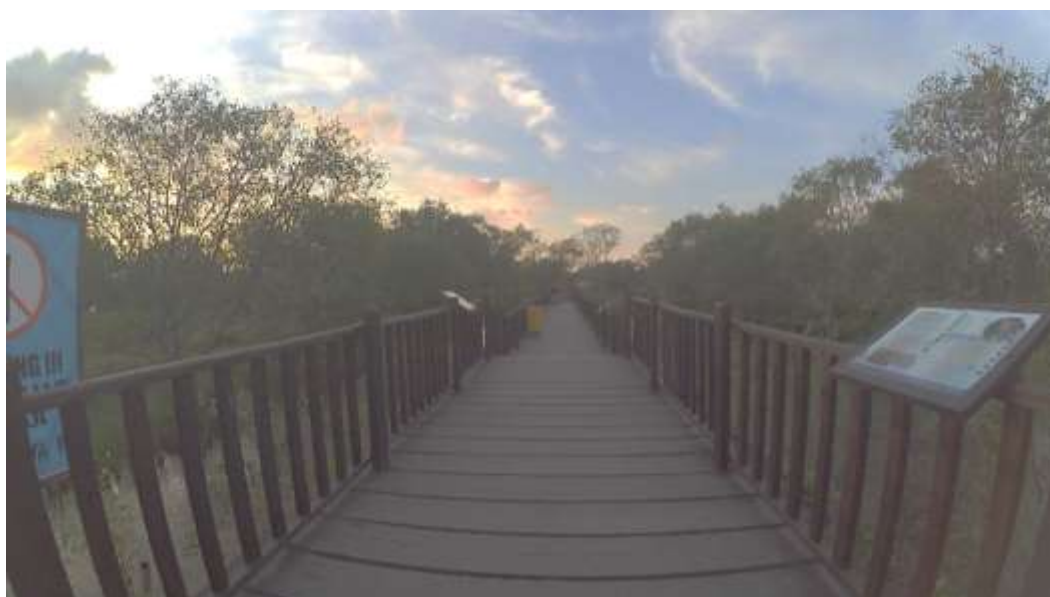


Рисунок2.5 – Мангровый лес Вонореджо(Ресурс: Авторская документация)

4) Пляж РиаКенджеран

Пляж расположен в Восточной Сурабае, это единственная пляжная зона для отдыха в Сурабае. Место пользуется популярностью как у местных жителей, так и у путешественников и славится своей прибрежной красотой (рисунок 2.6).



Рисунок 2.6 – Пляж Риа Кенджеран(Ресурс: Авторская документация)

Выводы:

1) В 1994 году население города Сурабаи составляло 2 306474, в 2018 году оно составляло уже 3 094732 человек. В Сурабае признано 6 религий: ислам, католицизм, христианство, индуизм, буддизм, конгучу.

2) Основываясь на данных Госдепартамента по торговле и промышленности города Сурабаи, существует 2 области, а именно сектор торговли (внутренняя торговля и внешняя торговля) и промышленный сектор (химическая промышленность, агропромышленный сектор и лесная продукция; металл, машиностроение, электроника и различные другие отрасли промышленности).

3) Сурабая находится в месте, богатом гумусом, что делает Сурабаю пригодной для различных видов сельского хозяйства. Вклад сельскохозяйственной

предприятий в Сурабае относительно невелик, учитывая ограниченность сельскохозяйственных угодий в городских районах. Существует 2 вида растений, которые выращиваются здесь, – рис и палавиджа (вторичные культуры). Виды риса: рисовые поля и полевой рис. Виды палавиджи: кукуруза, маниока, батат, арахис, стручковая фасоль и соя.

4) Животноводство в Сурабае представлено несколькими видами скота и птицы. Скот представлен такими видами как буйволы, коровы, овцы, молочные коровы и козы; домашняя птица – утки и куры.

5) Сурабая – прибрежный город, поэтому у него большой потенциал для производства рыбы. Сурабая является производителем морской рыбы и пресноводные рыбы. Они делятся на прудовую рыбу, пресноводную рыбу, обычную морскую рыбу как продукт аквакультуры.

6) Сурабая – это город, в котором есть множество туристических достопримечательностей для местных и иностранных туристов. Несмотря на то, что в Сурабае нет удивительного природного ландшафта, здесь развивается иная модель природного туризма благодаря усилиям по реализации зеленых открытых пространств, омоложение парков и развитие туристических деревень.

ГЛАВА 3 МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

3.1 Данные исследований

В этом исследовании используются следующие данные (таблица 3.1).

Таблица 3.1 - Спецификация данных исследования

№	Данные	Источник данных	Год	масштаб	Тип данных	Источник данных
1	Landsat изображение5	USGS	1994	-	пространственные данные	Электронная копия
2	Landsat изображение 7 ETM+	USGS	2003, 2011* ¹ , 2012*.	-	пространственные данные	Электронная копия
3	Landsat изображение OLI 8	USGS	2013*, 2014*, 2015*, 2016*, 2017* 2018	-	пространственные данные	Электронная копия
4	Изображение Sentinel 2	USGS	2016*, 2017*, 2018	-	пространственные данные	Электронная копия
5	Карта города Сурабая	Индонезийское агентство геопространственной информации (BIG)	2017	1 : 25.000	пространственные данные	Электронная копия
6	Данные о ветре в городе Сурабая	Агентство метеорологии, климатологии и геофизики (BMKG) ТанджунгПерак, Сурабая	2016, 2017, 2018	-	пространственные данные	Электронная копия
7	Статистика города Сурабая	Центральное статистическое агентство (BPS) провинции Восточная Ява и BPS Сурабая	1994, 1996, 2003, 2011 – 2018	-	непространственные данные	Печатная копия

3.2 Инструменты исследования

В исследовании было использовано следующее программное и аппаратное обеспечение:

¹(*) дополнительные данные (второстепенные)

а) для обработки данных и отчетности использовался ноутбук Lenovo Core i5 NVIDIA GEFORCE;

б) для обработки пространственных и непространственных данных использовалось следующее программное обеспечение (таблица 3.2):

Таблица 3.2 - Программное обеспечение

№	Программное обеспечение	Функция
1	ENVI 4.6	Классификация классового покрытия по данным спутниковых снимков Landsat и Sentinel
2	ArcGIS 10.3	Анализ пространственных данных из данных спутниковых снимков Landsat и Sentinel, проанализированных данных, таких как изменение береговой линии и прогноз (с использованием анализа DSAS), изменение значения площади и т.д.
3	WRPlot	Предоставляет визуальные графики роз ветров, частотный анализ и графики для нескольких форматов метеорологических данных. Роза ветров отображает частоту возникновения ветров в каждом из указанных секторов направления ветра и классов скорости ветра для данного местоположения и периода времени
4	Google Earth Engine (GEE)	Анализ ареала мангровых зарослей на побережье Сурабаи; оценка количества биомассы и запаса углерода
5	Excell Word	Обработка непространственных данных, связанных с воздействием изменений береговой линии и земного покрова, обработка данных об изменениях береговой линии, изменениях в землепользовании

3.3 Этапы исследования

3.3.1 Стадия обработки геоморфологических изменений береговой линии

В работе использованы изображения Landsat TM 5 (8 июля 1994 г.) и Landsat 8 OLI (17 мая 2018 г.). Проведены также полевые съемки в береговой зоне, полученные материалы были загружены в SHP-файлы в качестве ориентира в выгрузке изображений Landsat. Последовательность исследований представлена на рисунке 3.1.

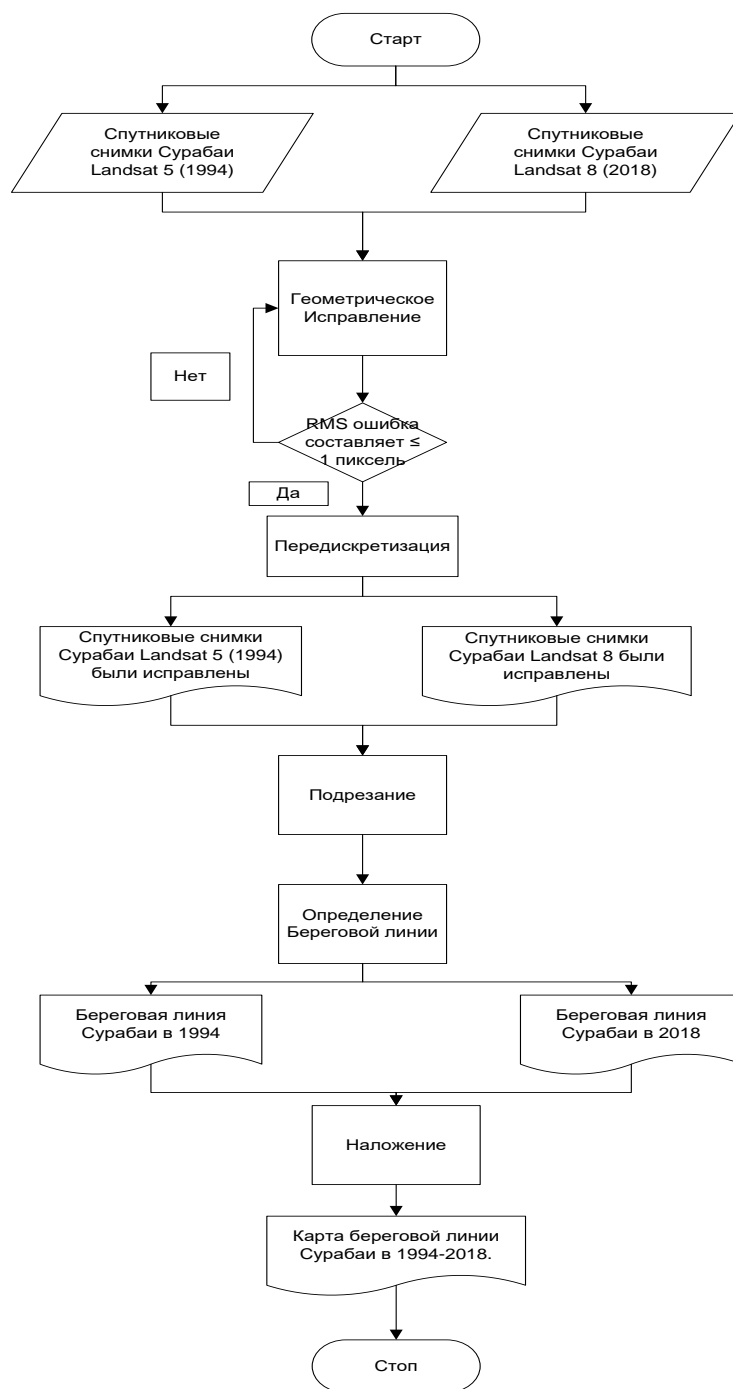


Рисунок 3.1– Последовательность исследований изменений в геоморфологии береговой линии Сурабая

Данные Landsat Image были оцифрованы с использованием программного обеспечения ENVI4.6. В этом программном обеспечении происходит процесс радиометрической коррекции. Радиометрическая коррекция представляет собой

процесс исправления пиксельных значений на спутниковых изображениях и радиометрических погрешностей для улучшения визуализации изображения [15,44]. Повышение резкости пространственных изображений, или так называемое панхроматическое слияние изображения, направлено на улучшение качества изображений, чтобы облегчить пользователю процесс интерпретации [71]. Панхроматические полосы в восьмой полосе, которая имеет разрешение 15м, выше, чем у других многоспектральных полос с разрешением 30м. Этот процесс осуществлялся на основе применения программного обеспечения ENVI 4.6 и метода Грама – Шмидта, используемого для повышения резкости изображения [15].

Обработанное изображение было вырезано в соответствии с местоположением области исследования, а именно прибрежной частью Сурабаи, которая включает 20 подрайонов: РомоКалисари, ТамбакОсовилангун, ТамбакЛангон, Грегес и Калианак (Западная Сурабая); Моро Крембанган, Западный Перак, Северный Перак, Уджунг, Тамбак Веди, Булак Бантенг, Тамбак Веди, КедункЧовек, Кенджеран, Суколило (Северная Сурабая); ДукухСутореджо, Калисари, Кепутих, Вонореджо, Медокан Аю, ГунунгАньярТамбак (Восточная Сурабая). Далее была оцифрована береговая линия, и изображения Landsat обрабатывались с использованием метода резкого панорамирования. Повышение резкости – это процесс объединения мультиспектральных и панхроматических изображений (band 8), который имеет спектральное и высокое пространственное разрешение. Затем береговая линия на изображении была оцифрована с помощью программного обеспечения ArcGIS 10.3. Результаты оцифровки изображений береговой линии в Landsat TM 5 (1994 г.) и Landsat 8 OLI (2018 г.) были наложены друг на друга [71].

Цель этого наложения состоит в том, чтобы выяснить степень изменения береговой линии Сурабаи за период 1994–2018гг. Расчет площади размыва и аккумуляции сделан с помощью ArcGIS 10.3инструментом вычисления геометрии. Линии были преобразованы в многоугольник, результаты оцифровки изображений 1994 и 2018гг. совпали и показали области абразии и аккумуляции. Область

считается абразионной, если результаты оцифровки изображения 1994г. находятся перед данными 2018г.; область аккумулятивная, если результаты оцифровки изображения 2018 г. находятся перед данными 1994г. Совмещение положения береговой линии Сурабаи и ее регионов использовалось и для того, чтобы оценить интенсивность проявления береговых процессов.

3.3.2 Этап обработки скорости и прогноз изменения береговой линии

Работа на этом этапе обработки является продолжением обработки, касающейся геоморфологических изменений береговой линии Сурабая. После наложения береговых линий 1994, 2003 и 2018 годов выполняется статистический анализ с помощью программного обеспечения Цифровой системы анализа береговой линии (DSAS) и статистического расчета показателя конечной точки (EPR). Последовательность исследований скорости и прогнозирования изменения береговой линии представлена на рисунке 3.2.

DSAS – это дополнительное программное обеспечение от ArcGIS 10.3, которое позволяет пользователям статистически рассчитывать изменение береговой линии с течением времени [38]. DSAS позволяет создавать трансекты перпендикулярно базовой линии первоначального изменения береговой линии. DSAS выполняет следующие функции:

- 1) определяет базовый уровень измерения;
- 2) создает разрезы и метаданные на основе заранее определенных параметров;
- 3) предоставляет статистическую информацию об изменении береговой линии.

DSAS может выполнять некоторые статистические вычисления, такие как скорость конечной точки, скорость линейной регрессии и взвешенная скорость линейной регрессии (WLR).

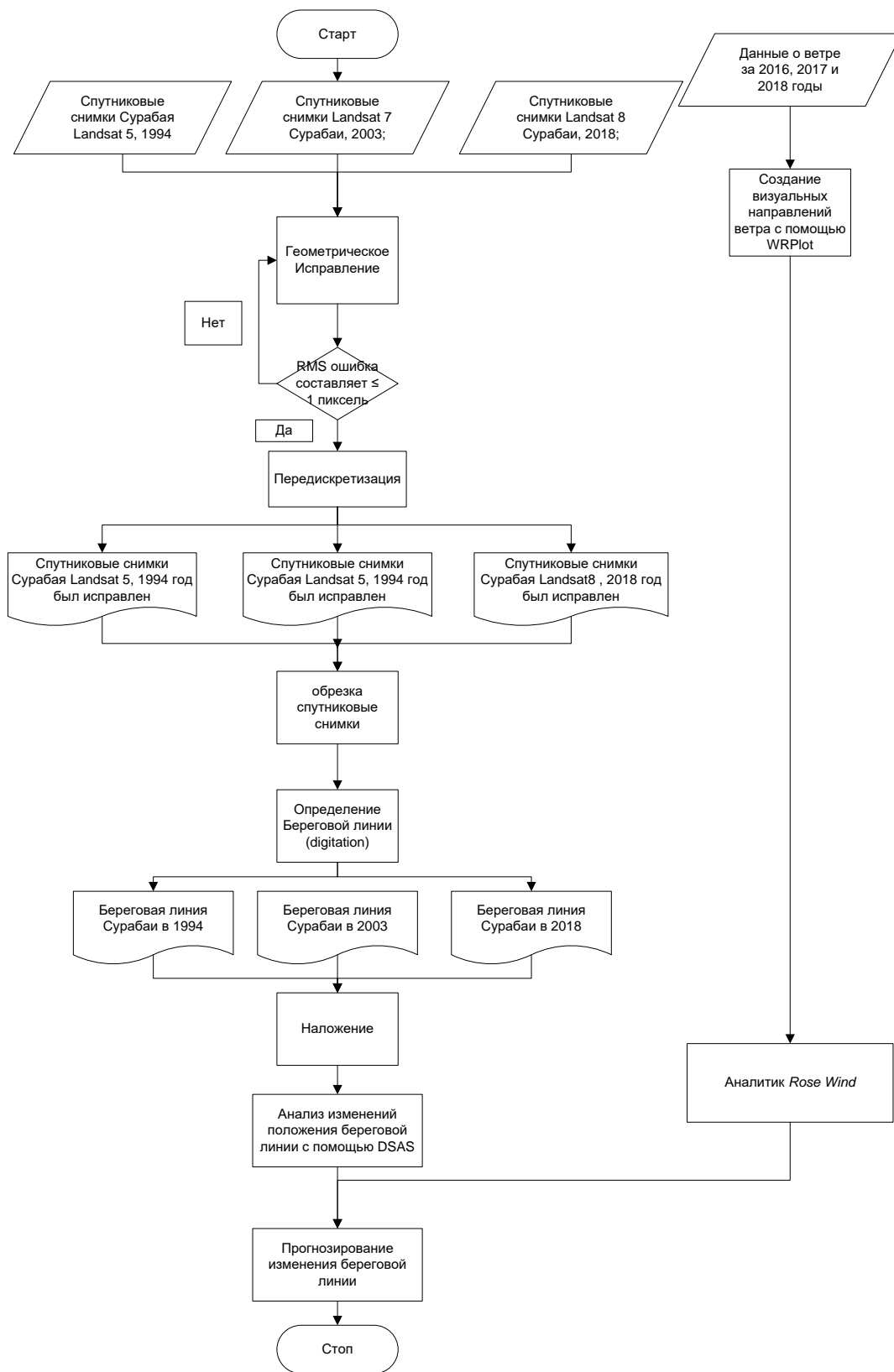


Рисунок 3.2– Последовательность исследований скорости и прогнозирования изменения береговой линии

В этом исследовании с DSAS использовался статистический расчет EPR. Согласно Тилеру[94] уравнение расчета конечной скорости (ECI) выглядит следующим образом:

$$ECI = \pm \frac{\sqrt{E_{tA}^2 + E_{tB}^2}}{Date(A) - Date(B)}, \quad (3.1)$$

где E_{tA} – неопределенность положения береговой линии A ; E_{tB} – неопределенность положения береговой линии B ; $Date(A)$ и (B) – время или дата береговой линии A и B .

В этом исследовании использовалась базовая линия, которая была нанесена на берег (начерчена базовая линия и береговая линия на экране оцифровки). Трансекта была сделана в сторону моря. Расстояние между трансектами составляло 50 м, длина трансекты – 3000 м. Исследователи установили расстояние 50 м, потому что данные представляли собой в основном спутниковые изображения, основанные на пикселях, и считались достаточно подробными, чтобы их можно было применить к береговой линии Сурабаи, которая имела длину ± 47 км и неправильную форму. Необходимо было доработать трансекту так, чтобы исследователь получил скорость изменения береговой линии в Сурабае за 24 года[73].

Принцип анализа изменения береговой линии с использованием DSAS заключался в использовании новой линии, полученной от пересечения линии разреза и береговой линии в определенное время [11]. Исследование проводилось путем анализа результатов расчета изменения береговой линии и отбора данных, которые имели наибольшее и наименьшее изменение в каждой прибрежной городской деревне в Сурабае. Данные о скорости изменения береговой линии используются для классификации береговой линии с нормальными (медленно меняющимися), средними и высокими (очень опасными) значениями скорости изменения береговой линии. Эта группировка делится на две, а именно, вызванные эрозией и аккрецией.

После получения значения скорости изменения береговой линии следующим шагом являлось прогнозирование изменений береговой линии на следующие несколько лет (2020-2030 гг.). Данные за 3 года береговой линии (1994, 2003 и 2018), полученные из DSAS, анализировались с помощью простой регрессии, а затем в Excel вычислялось прогнозируемое значение береговой линии, подвергающейся эрозии и аккумуляции в течение следующих 11 лет.

Пример одного из расчетов прогноза эрозии представлен в таблице 3.3. Пример одного из расчетов линейной регрессии для эрозии представлен в таблице 3.4. Пример одного из расчетов прогноза аккумуляции представлен в таблице 3.5. Пример одного из расчетов линейной регрессии для аккумуляции представлен в таблице 3.6.

Таблица 3.3 - Пример одного из расчетов прогноза размыва

Размыв (1994-2018гг) / MaximumErosion			
Район: Рунькут (Rungkut)			
Подрайон: Вонореджо (Wonorejo)			
ShorelineId	Distance (m)	Intersect X (m)	Intersect Y (m)
05/07/1994	574,0586	703818,1	9191830
05/05/2003	494,923	703740,1	9191843
05/05/2018	397,5421	703644,1	9191860
Сумма изменения (m)	-176,516482		

Таблица 3.4 - Пример одного из расчетов линейной регрессии для эрозии

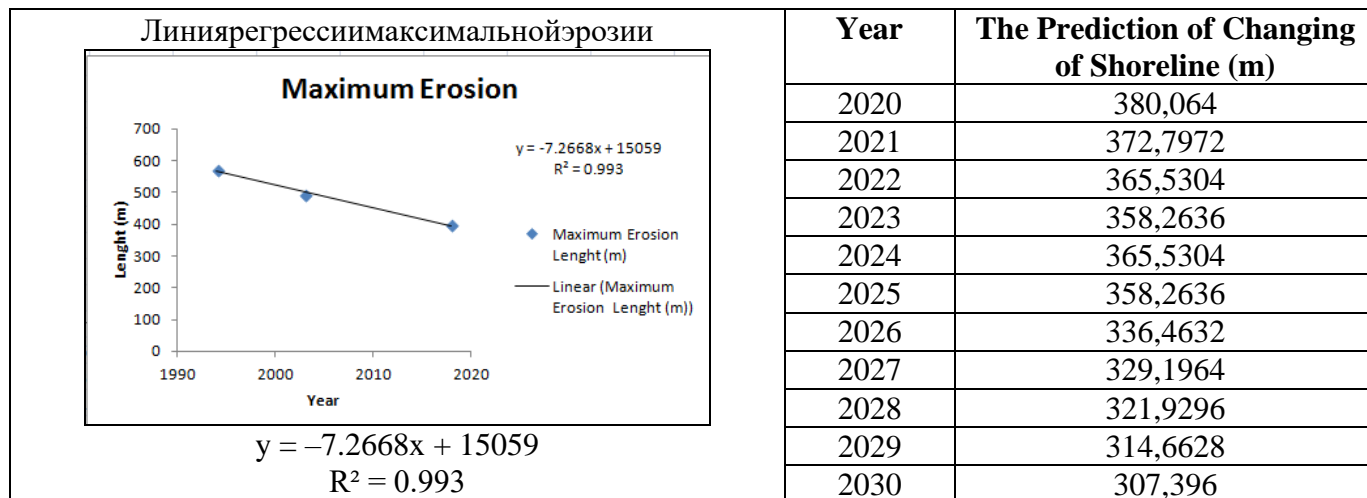



Таблица 3.5 - Пример одного из расчетов прогноза аккумуляции

Аккумуляция (1994-2018гг) / Maximum Accretion/Accumulation			
Район: Мулиорехо (Mulyorejo)			
Подрайон: Калисари (Kalisari)			
ShorelineId	Distance (m)	Intersect X (m)	Intersect Y (m)
05/07/1994	231,5396	699954,5469	9196592,128
05/05/2003	956,9901	700388,7592	9197173,28
05/05/2018	2087,033	701065,1369	9198078,548
Сумма изменения (m)	+1855,493133		

Таблица 3.6 - Пример одного из расчетов линейной регрессии для аккумуляции

Линия регрессии максимальной аккумуляции 	Year	The Prediction of Changing of Shoreline (m)
	$y = 70.184x - 139657$ $R^2 = 0.9976$	2020
	2021	2326,331
	2022	2403,442
	2023	2480,553
	2024	2557,664
	2025	2634,775
	2026	2711,886
	2027	2788,997
	2028	2866,108
	2029	2943,219
	2030	3020,33

3.3.3 Этап управления изменениями земельного покрова

Мониторинг земного покрова проводился с использованием спутниковых снимков Landsat (1994, 2003 и 2018 гг.) и контролируемого метода классификации. Ход исследований по обработке изменений земного покрова представлен на рисунке 3.3.

Процесс классификации изображений проводился для разделения земного покрова на несколько классов: городские районы, мангровые заросли, голые земли, пруды, растительность и водоемы. В качестве контролируемого метода классификации использовался метод максимального правдоподобия.

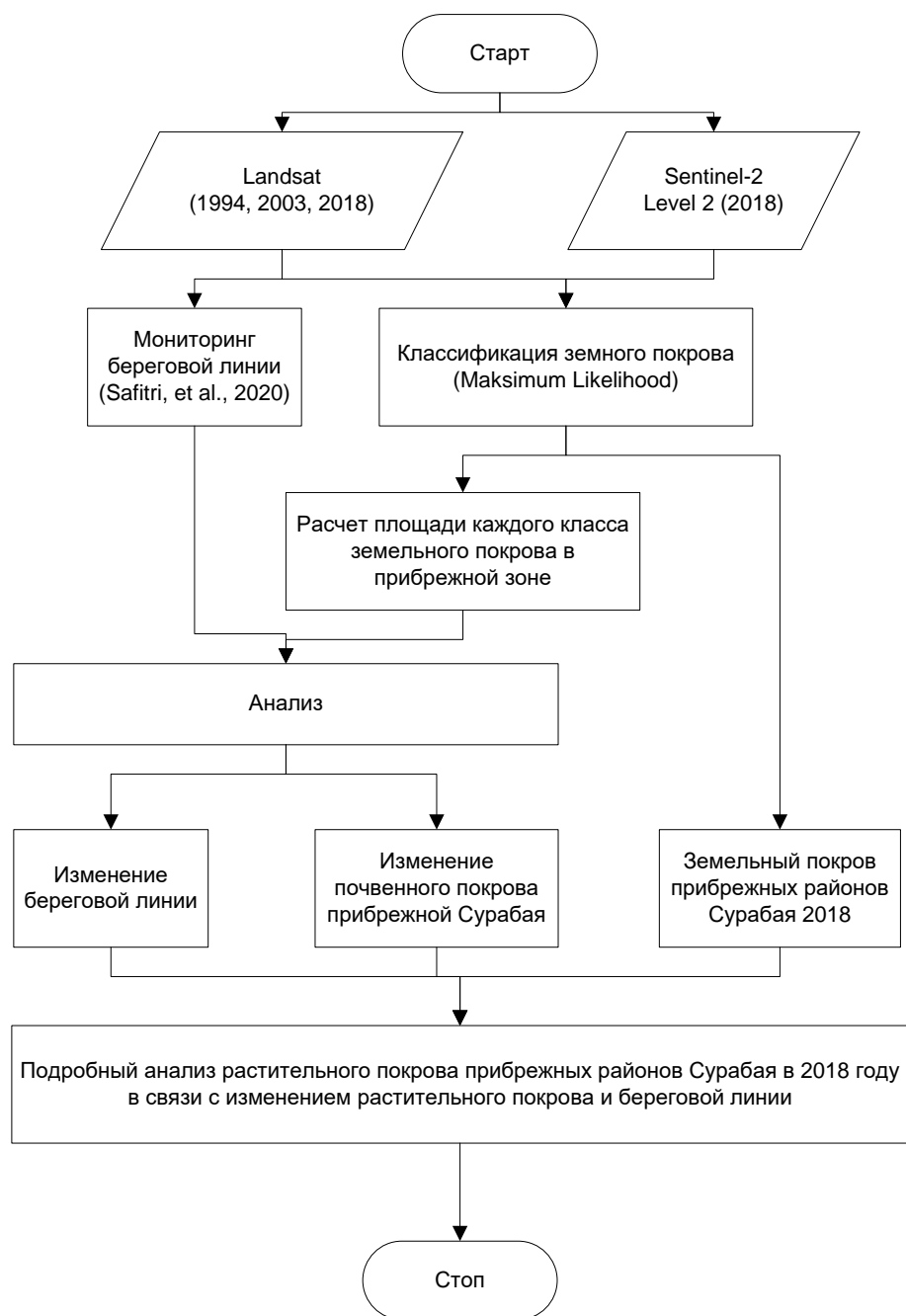


Рисунок 3.3– Ход исследований по обработке изменений земельного покрова.

Оценка максимального правдоподобия – это метод, который определяет значения параметров модели. Значения параметров подбираются таким образом, чтобы они максимизировали вероятность того, что оценка будет максимально близка к реальной[86] и кратко объясняет классификацию, предложенную Скоттом

и Саймонсом [86], путем определения класса m . Вероятность апостериорного класса определялась как[52]:

$$P(k|x) = \frac{P(k)P(x|k)}{\sum_{i=1}^m P(i)P(x|i)} \quad (3.2)$$

где $P(k)$ – это предыдущая вероятность класса k ; а $P(x | k)$ – это условная вероятность наблюдения x класса k (функция плотности вероятности). В нормальном распределении функция правдоподобия $P(x | k)$ определялась как:

$$L_k(x) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{n}{2}} |\Sigma_k|^{\frac{1}{2}}} \exp \left(-\frac{1}{2} (x - \mu_k)^T \Sigma_k^{-1} (x - \mu_k) \right), \quad (3.3)$$

где $x = (x_1 x_2 \dots x_n)^T$ – вектор пикселей с полосой n ; $L_k(x)$ – функция вероятности класса x в классе k ; $\mu_k = (\mu_{k_1} \mu_{k_2} \dots \mu_{k_n})^T$ – средний балл от класса n до класса k ;

$$\Sigma_k = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \dots & \sigma_{1n} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \dots & \sigma_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{n1} & \sigma_{n2} & \dots & \sigma_{nn} \end{bmatrix} \text{ – ковариационная матрица } k.$$

После классификации земельного покрова была рассчитана площадь каждого класса. На основании этого мониторинга было получено изменение земного покрова. На основе данных об изменении земного покрова и береговой линии проведено более детальное наблюдение за земным покровом 2018 года с использованием спутниковых снимков Sentinel-2 для более подробных наблюдений, потому что они имели лучшее разрешение, чем спутниковые снимки Landsat. Снимок со спутника Landsat имел разрешение 30 м, снимок со спутника Sentinel-2 имел разрешение 10 м.

Точность карты земного покрова оценивалась путем расчета точности, запоминания, оценки F1 и макроса F1 данных, полученных со спутниковых снимков, и сравнения этих данных с данными, полученными при наблюдении на месте. Расчет должен был показать точность количественно, а также представить

визуальную оценку путем распределения образцов наблюдения, сопровождаемых несколькими фотографиями места наблюдения.

Считают, что оценка F1 может быть определена с помощью правила принятия решения $D(C) : \mathbb{R}^{n \times m} \rightarrow \{0,1\}^{n \times m}$ которое преобразует матрицу вероятностей C в двоичные предсказания P . $G \in \{0,1\}^{n \times m}$ является золотым стандартом, который представляет истинные значения всех меток в данном пакете. Степень исполнения M сводит оценку к ожидаемой с учетом золотого стандарта[53]:

$$M(P, G) : \{0,1\}^{n \times m} \times \{0,1\}^{n \times m} \rightarrow \mathbb{R} \in [0,1]. \quad (3.4)$$

Количество истинно отрицательных, ложно отрицательных fn , истинно положительных tp , ложно положительных результатов fp представлено в виде матрицы неточностей (таблица 3.7).

Таблица 3.7 - Матрица неточностей

	ActualPositive	ActualNegative
PredictedPositive	tp	fp
PredictedNegative	tn	fn

Точность $p = tp/(tp + fp)$ – это доля всех положительных прогнозов; $r = tp/(tp + fn)$ – это доля всех фактических положительных результатов, которые (по прогнозам) будут положительными. Затем, согласно определению, F1 используется для измерения среднего гармонического значения точности и отзыва $F1 = 2/(1/r + 1/p)$. Используя подстановку, мы можем выразить F1 как функцию количества истинно положительных, ложно положительных и ложно отрицательных результатов:

$$F1 = \frac{2tp}{2tp + fp + fn} \quad (3.5)$$

Другое используемое нами измерение – это макрос F1, который также вычислялся для каждой метки m и усредняет их:

$$F1_M(P, G) = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m F1(P_{:j}, Q_{:j}) \quad (3.6)$$

3.3.4 Стадия обработки влияния изменений береговой линии и растительного покрова на социально-экономические аспекты

Этапы обработки данных показаны на рисунке 3.4. На этапе обработки социально-экономического воздействия были добавлены данные снимков Landsat за 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016 и 2017 годы для побережья Сурабаи.

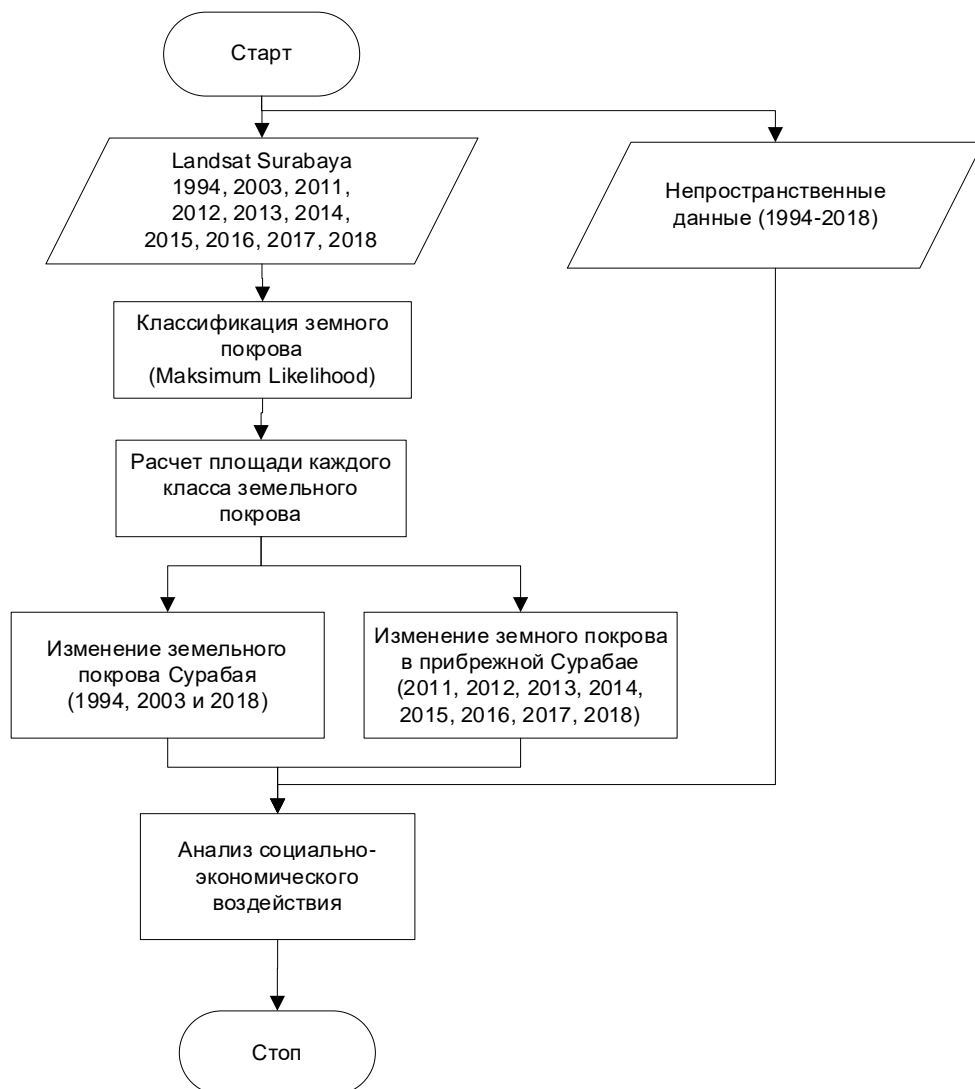


Рисунок 3.4 – Этапы исследований по анализу воздействия изменения береговой линии и растительного покрова на социально-экономические аспекты

Кроме того, в 1994, 2003 и 2018 годах был проведен процесс классификации земного покрова Сурабаи.

Прибрежная зона является частью района Сурабаи, поэтому каждый год требуется более подробный анализ с использованием непространственных данных. Эти данные включают данные о населении, количестве рыбаков, данные о производстве рыбы, данные о валовом региональном внутреннем продукте (ВРП) города Сурабаи и другие [73, 76].

3.3.5 Этап классификации рода мангровых зарослей и оценка значений биомассы и запасов углерода

Этот этап представляет собой усовершенствованную классификацию мангрового покрова на побережье Сурабаи (рисунок 3.5).

Используемые данные: USGS Landsat 5 Surface Reflectance (1994 г.), USGS Landsat 7 Surface Reflectance (2003 г.) и USGS Landsat OLI 8 Surface Reflectance (2018 г.). Для классификации рода мангровых зарослей на этом этапе используется Machine Learning Smile Random Forest в программном обеспечении Google Earth Engine (GEE). Классификация рода мангровых зарослей основана на определенном значении NDVI, так что определены 3 класса рода мангровых зарослей: диапазон значений NDVI (0–0,32) соответствует роду мангровых зарослей *Sonnerati* sp, диапазон значений NDVI (0,32 – 0,42) – роду мангровых зарослей *Avicennia* sp, диапазон значений NDVI (0,42 – 1,00) – роду мангровых зарослей *Rhizophora* sp [81].

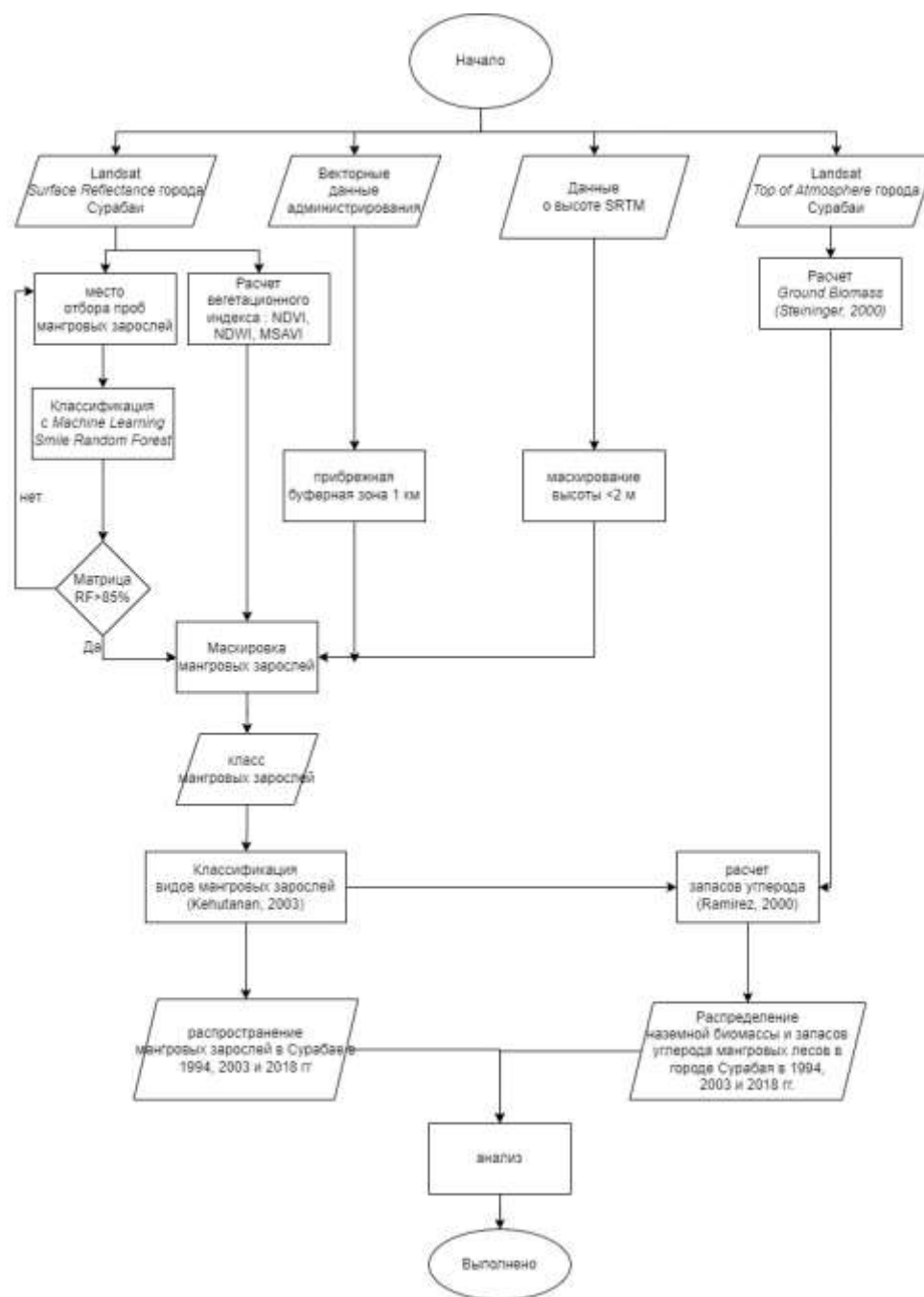


Рисунок 3.5 – Этапы классификации рода мангровых зарослей и оценка значений биомассы и запасов углерода

NDVI был обнаружен Rouse et al. [101] с использованием NIR и Red band для расчета вегетационного индекса, как показано в следующем уравнении:

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{Red}}{\rho_{NIR} + \rho_{Red}} \quad (3.7)$$

где Normalised Difference Vegetation Index (NDVI) или нормализованный разностный индекс растительности – это простой числовой показатель, который можно использовать для анализа измерений, полученных с помощью дистанционного зондирования с удаленных платформ, и оценки того, содержит ли наблюдаемая цель или объект зеленую растительность [101]; ρ_{NIR} – значение коэффициента отражения ближнего инфракрасного канала; ρ_{Red} – значение коэффициента отражения красного канала (Red).

Диапазон длин волн NIR составляет (750–1300 нм), красного – (600–700 нм).

Следующим шагом является расчет оценочной биомассы и запаса углерода на основе количества родов мангровых зарослей, существующих на побережье Сурабаи (в 1994, 2003 и 2018 годах).

Для расчета значения запасов углерода используется уравнение [60] на основе продолжения расчетов на основе данных о GroundBiomass и классификации мангровых лесов. Величину биомассы оценивали по формуле Steininger [97,102] следующим образом:

$$AGB = 50.77 - 287.62 \cdot X \quad (3.8)$$

где AGB = надземная биомасса (кг /м²), X – коэффициент отражения Landsat TM с поправкой на атмосферу.

Затем из полученной оценки биомассы можно оценить величину запаса углерода следующим образом [58,63,88]:

Запас углерода = 0,5 x биомасса

Выводы:

1) Использовался метод дистанционного зондирования для обнаружения изменения береговой линии. Данные были получены со спутников Landsat за многолетний период. Использовалось программное обеспечение Цифровой системы анализа береговой линии (DSAS) и статистический расчет скорости конечных точек (EPR). Классификации рода мангровых зарослей и оценки общей биомассы с

использованием машинного обучения SmileRandomForest в программном обеспечении Google Earth Engine (GEE).

2) Методом исследования являлся пространственно-временной анализ положения береговой линии в течение 24 лет путем совмещения космоснимков и проведения подспутниковых наблюдений.

3) Методы исследования представлены в несколько этапов: стадия обработки геоморфологических изменений береговой линии; этап обработки скорости и прогноз изменения береговой линии; этап анализа изменений земельного покрова; стадия обработки влияния изменений береговой линии и растительного покрова на социально-экономические последствия; этап классификации родов мангровых зарослей и оценка общей биомассы и запасов углерода.

ГЛАВА 4 . ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ (ГИС) ДЛЯ МОНИТОРИНГА БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ И ЗЕМЕЛЬНОГО ПОКРОВА

4.1 Состояние проблемы исследования продвижения береговой линии и мангровых лесов

Прибрежные зоны Индонезии подвергаются значительной эрозии, что приводит к потере земель и разрушению морских экосистем [57]. Для решения этой проблемы были предложены и внедрены различные стратегии. Одним из подходов является строительство твердых структур, таких как булыжничко-щебеночные волноломы [61]. Эти структуры разработаны для снижения воздействия волн и предотвращения дальнейшей эрозии. Помимо твердых структур, концепция Building with Nature (BwN) была внедрена в регенсе Демак, Центральная Ява, для захвата осадка и снижения энергии волн [27]. Использование BwN показало многообещающие результаты в захвате осадка и восстановлении береговой линии. Данные дистанционного зондирования использовались для мониторинга изменений береговой линии в провинции Восточная Ява, выявляя, что прибрежная аккумуляция более значительна, чем размыв в этом регионе [17]. Однако в других районах, таких как Субанг, наблюдается значительная прибрежная эрозия, что приводит к потере земель, используемых для рыбных прудов, и воздействует на средства к существованию местных сообществ [48]. Для решения этих проблем важно разработать региональные стратегии защиты, учитывающие специфические потребности каждого района. Впоследствии после цунами 2004 года правительство Индонезии реализовало программу ANTERP по реабилитации и реконструкции прибрежных зон, включая строительство твердых структур, таких как набережные и причалы из камня [57]. Оценка эффективности этих структур и мониторинг изменений береговой линии являются критическими для приоритезации будущих вмешательств.

Прибрежная зона представляет собой динамичный регион с высокой экологической и экономической ценностью. Фуад и др. [42] сосредоточились на анализе темпа изменения береговой линии с использованием многовременных изображений Landsat и цифровых систем анализа береговой линии (DSAS) в северной части прибрежной зоны Гресика, Восточная Ява, Индонезия. Исследование выявило, что в целом абразия преобладала над наращиванием, с самой высокой зоной абразии в деревне Нгембо. В отличие от этого, район Кампуреджо был относительно стабильным благодаря введению искусственных структур, таких как причал и плотина.

Эрвита и др. [39] провели анализ изменения береговой линии в Демаке, Индонезия, с использованием многовременных изображений спутников Landsat. Исследование показало, что наибольшие изменения береговой линии произошли в районах Сайунг и Ведунг, с тем, что Сайунг склонен к эрозии, а Ведунг, кажется, проявляет наращивание. Основными факторами, влияющими на эти изменения, были ветер, волны, течения и приливы.

Арджасакусума и др. [17] оценили изменения береговой линии в провинции Восточная Ява, Индонезия, с 2000 по 2019 год с использованием комбинации оптических данных дистанционного зондирования и радарных данных. Исследование выявило, что прибрежное наращивание более заметно, чем прибрежная эрозия в провинции Восточная Ява, с некоторыми участками береговой линии, особенно в дельтах рек Бенгаван-Соло и Брантас/Поронг, испытывающими массовые изменения.

Дьюи и др. [35] использовали классификацию надзора без учителя нечеткой средних (FCM) для наблюдения за позициями береговой линии и выявления изменений в северной прибрежной зоне Явы, Индонезия. Исследование обнаружило постепенные и резкие изменения положений береговой линии, а также меру неопределенности изменений для наблюдаемых объектов на уровне пикселей. Градостроительное развитие в зонах с повышенным риском наводнений привело к

увеличению опасностей, включая затопление и эрозию, что привело к изменениям положения береговой линии.

Ачиари и др.[10] провели численную модель изменения береговой линии с использованием GENESIS и полевых обследований в районе Пондок-Бали, Субанг, Индонезия. Исследование выявило, что волны, возникающие во время восточного муссона, рип-течения и затопление из-за поднятия уровня воды имели значительное влияние на отступление береговой линии в Пондок-Бали и окружающих его районах.

В заключение, исследования изменения береговой линии в Индонезии использовали различные методы, такие как данные дистанционного зондирования, численные модели и полевые обследования, чтобы оценить темп изменения береговой линии, выявить факторы, влияющие на эти изменения, и количественно оценить изменения береговой линии. Эти исследования предоставляют ценные научные данные о динамике прибрежных зон Индонезии и потенциальных рисках прибрежной эрозии и осадения [10,17,39,42,106].

Оценка изменения береговой линии в Сурабае была объектом недавних исследований. Пратомо и др. [50] использовали технологию дистанционного зондирования для расчета скорости изменения береговой линии в Сурабае с 2015 по 2019 год. Исследование показало, что самый длинный побережье города Сурабая было в 2015 году, с длиной 69,605 км, а самый короткий берег был в 2019 году, с длиной 65,759 км. Максимальная скорость изменения береговой линии в Сурабае была выявлена с использованием нескольких методов, включая Shoreline Change Envelope (SCE), Net Shoreline Movement (NSM), End Point Rate (EPR) и LinearRegression Rate (LRR). Кроме того, анализ изменений площади земли в период с 2015 по 2019 год привел к значительному наращиванию и абразии в различных деревнях.

Прасетио и др. [66] также исследовали влияние поднятия уровня моря и опускания земли на изменение береговой линии в прибрежной зоне Демак.

Исследование использовало технологию дистанционного зондирования для оценки поднятия уровня моря и опускания земли, что привело к изменениям береговой линии в Демак. Исследование выявило, что среднее поднятие уровня Яванского моря с 2011 по 2016 год составило +6,80 мм/год, с наивысшим увеличением в водах Джакарты и наименьшим в водах Сурабаи. Исследование также выявило, что район Демак испытывает опускание территории со скоростью 2,078 до -8,376 см/год, что приводит к значительной абразии береговой линии.

Аркуайт [18] оценивал изменение береговой линии в БанккаланеМадуре с использованием эмпирических ортогональных функций (EOF). Исследование стремилось определить доминирующие паттерны вариации изменения береговой линии в Банккалане, выраженные собственной функцией в моделях EOF. Исследование выявило, что модель EOF лучше справляется с прогнозированием изменения береговой линии по сравнению с моделью One-line.

Брод[41] оценивал изменения береговой линии на атолле Вотье с использованием комбинации аэрофотоснимков и спутниковых изображений. Исследование выявило, что между 1945 и 2010 годом наращивание береговой линии было более распространено, чем эрозия, с средним Net ShorelineMovement (NSM) +1,74 м, указывающим на наращивание. Однако береговые линии на некоторых островах, изученных между 2004 и 2012 годами, в значительной степени были в состоянии эрозии, что указывает на сдвиг в сторону эрозии.

Майти и др.[56] обсуждали альтернативную экономичную методологию, включающую использование изображений спутникового дистанционного зондирования и статистики для анализа и прогнозирования изменения береговой линии. Исследование продемонстрировало, что совместное использование спутниковых изображений и статистических методов может быть надежным методом для исследований, связанных с береговой линией.

Дармавати[31] провела исследование об урбанизме рыбацких поселений в Сурабае, подчеркивая двойственную природу города с чертами как города, так и

деревни. Исследование выделило необходимость участия правительства и общества в обновлении рыбацкого поселения, а также важность экономических возможностей и охраны окружающей среды в прибрежных районах.

Мангровые зоны в Сурабае, особенно в районе Вонореджо, стали объектом нескольких исследовательских работ. Пратив и др. [104] провели исследование разнообразия сообщества плесени в местах обитания в ВонореджоСурабая и обнаружили, что разнообразие плесени в различных типах почвы в нескольких зонах района Вонореджоразнообразно, причем природное мангровое место обитания обладает наибольшим разнообразием родов по сравнению с земельными участками, изменившими свое функциональное назначение. Это подчеркивает важность сохранения мангровой зоны и мониторинга ее экологических изменений.

Аналогично, Любис и др. [54] обсуждали реализацию политики по мангровому лесу на восточном побережье Сурабаи, подчеркивая важность Постановления мэра Сурабаи №65/2011 в поддержании и сохранении мангровых зон в Сурабае. Исследование Видьянингрум и др. [96] сосредоточилось на роли женщин в интерпретации концепции тройной нижней линии в мангровой зоне GunungAnyarTambakSurabaya, выделяя активную роль женщин в охране природы и охране окружающей среды в регионе.

Кроме того, Фаттах и др.[40] проанализировали преимущества картографирования положения BeeJayBakau Resort (BJBR), туристического направления в городе Проболинго, использующего экосистему мангров, подчеркивая необходимость улучшения устойчивости экосистемы мангрового леса и образовательных учреждений относительно преимуществ мангров.

4.2 Результаты исследования динамики береговой линии

На побережье Сурабаи в исследуемый период наблюдались как абразионные процессы, так и аккумуляция. На значительной площади появились антропогенные объекты(рисунки 4.1, 4.2, таблица4.1).



Рисунок 4.1 – Карта совмещенной береговой линии Сурабаи за 1994-2018гг [7, 71, 75]

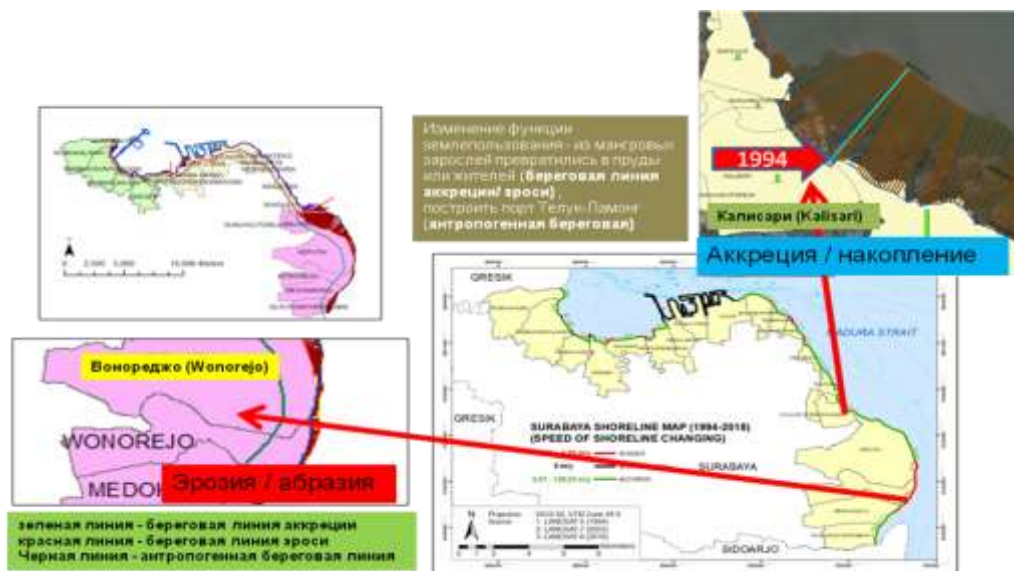


Рисунок 4.2– Карта береговой линии Сурабаи

Таблица 4.1 - Состояние береговой линии в прибрежных Сурабая подрайонах в 1994 - 2018 гг. [7]

	Район	Подрайон	Размыв	площадь (м ²)	Аккумуляция	площадь (м ²)	Антропогенный	площадь (м ²)
Западная Сурабая	Беново (Benowo)	РомоКалисари (RomoKalisari)	-	0.0	+	81589.2	-	0.0
		ТамбакОсовилангун (TambakOsowilangun)	+	2857.9	+	168095.5	+	916068.3
	Асемрово (Asemrowo)	ТамбакЛангон (TambakLangon)	+	2518.0	+	89025.3	-	0.0
		Грегес (Greges)	+	8667.2	+	58699.5	-	0.0
		Калианак (Kalianak)	+	17755.0	+	110755.0	-	0.0
Северная Сурабая	Крембанган (Krembangan)	Моро Крембанган (MoroKrembangan)	+	4528.5	+	173881.0	-	0.0
		Западный Перак (PerakBarat)	-	0.0	-	0.0	+	270686
	ПабеанЧантикан (PabeanCantikan)	Северный Перак (PerakUtara)	-	0.0	-	0.0	+	338830.2
	Семампир (Semampir)	Уджунг (Ujung)	+	0.0	+	12760.1	+	237334.1
	Кенджеран (Kenjeran)	Булак Бантенг (BulakBanteng)	+	16.5	+	42891.0	-	0.0
		Тамбак Веди (TambakWedi)	-	862.3	+	89701.0	-	0.0
		КедункЧовек (KedungCowek)	+	4831.9	+	41059.0	-	0.0
		Кенджеран (Kenjeran)	-	0.0	+	151723.8	-	0.0
	Суколило (Sukolilo)	-	0.0	+	694828.1	-	0.0	
Восточная Сурабая	Мулиореджо (Mulyorejo)	ДукухСутореджо (DukuhSutorejo)	-	0.0	+	678409.1	-	0.0
		Калисари (Kalisari)	-	0.0	+	1012228.2	-	0.0
	Суколило (Sukolilo)	Кепутих (Keputih)	+	40184.6	+	4401201.3	-	0.0
	Рунькуть (Rungkut)	Вонореджо (Wonorejo)	+	141637.1	+	18103.0	-	0.0
		Медокан Аю (MedokanAyu)	+	5786.5	+	320949.3	-	0.0
ГунунгАньяр (GunungAnyar)	ГунунгАньярТамбак (GunungAnyarTambak)	-	0.0	+	280430.3	-	0.0	
Сумма площадей (м ²)				Абразия = 229645.5 (11 подрайонов)		Аккумуляция = 8426330 (18 подрайонов)		Антропогенный =1762919 (4 подрайона)

Площади размыва на побережье Сурабаи были определены для 11 подрайонов, сильнее всего пострадавших от этого процесса. Согласно оцифрованным данным Landsat, за 1994-2018 гг. площадь размыва составила 229 645,5 м². Среди всех подрайонов Вонореджо характеризуется наибольшими скоростями абразии, а подрайон Булак Бантенг является наименее пострадавшим от размыва (16,5 м²).

Аккумуляция может происходить из-за процесса перемещения пляжеобразующего материала вдоль побережья и его переотложения с формированием аккумулятивных форм. Процесс аккумуляции зафиксирован в зонах распространения мангровой растительности, которая встречается в нескольких прибрежных районах Сурабаи. Географически контур побережья Восточной Сурабаи обеспечивает затишной режим, а подводный склон представляет собой мелководье со слабой волновой активностью. Большая часть наносов накапливается здесь в течение нескольких лет, это один из факторов формирования аккумулятивного берега. На рис.4.1 видно, что процесс аккумуляции в Восточной Сурабае более распространен в районе Суколило в подрайоне Кепутих (4 401 201,3 м²) [4, 5, 6, 7, 71, 75].

Проведенные исследования показали, что прибрежные земли в Сурабае в основном заняты населенными пунктами и прудами. Большинство новых прудов создано в Восточной Сурабае, ГунунгАньяре, Рункуте и в подрайоне Суколило. Автор провели выездную проверку водоемов и мангровых зарослей в подрайоне ГунунгАньярТамбак[44,71].

Деятельность человека является основным фактором в процессе изменения береговой линии Сурабаи. При проведении полевой проверки было установлено, что процесс изменения береговой линии, который произошел в Кепутихе, был вызван уничтожением мангровой растительности и созданием новой зоны поселений в этом районе. Мангровые заросли вдоль побережья Сурабаи играют важную роль в сдерживании волн и течений, и благодаря этому влияние абразии сводится к минимуму.

По данным таблицы 4.1 наиболее пострадавший от абразии подрайон – Вонореджо (141637,1 м²). Это связано с деятельностью человека, а именно – с изменением режима землепользования. Мангровые заросли были вырублены, и вместо них сформированы фермы марихозайств. Ведется незаконная вырубка мангровых зарослей и в окрестностях Сурабаи, со временем влияние размыва все больше ощущается на пляжах и наносит ущерб местным жителям – разрушены дома, в которых они жили. К сожалению, общество до сих пор не осознает важность мангровых зарослей в прибрежных районах.

Интенсивное освоение береговой зоны происходит в районе Северной Сурабаи, где находится порт ТанджунгПерак. В 2013 г. в районе Беново (в подрайоне ТамбакОсовилангун) был построен новый порт ТелукЛамонг, в результате чего площадь антропогенно-трансформированных берегов увеличилась на 916068,3 м².

За 24 года размыв, аккумуляция и антропогенное воздействие оказали сильное влияние на геоморфологию прибрежной зоны и береговой линии Сурабаи (рисунок 4.3). Зачастую эти процессы носят негативный характер. Придание огласке этой ситуации, участие правительства и общественности в значительной степени влияют на успешность восстановления прибрежных экосистем, но для этого необходимо более плотное сотрудничество между правительством и местными сообществами [74].

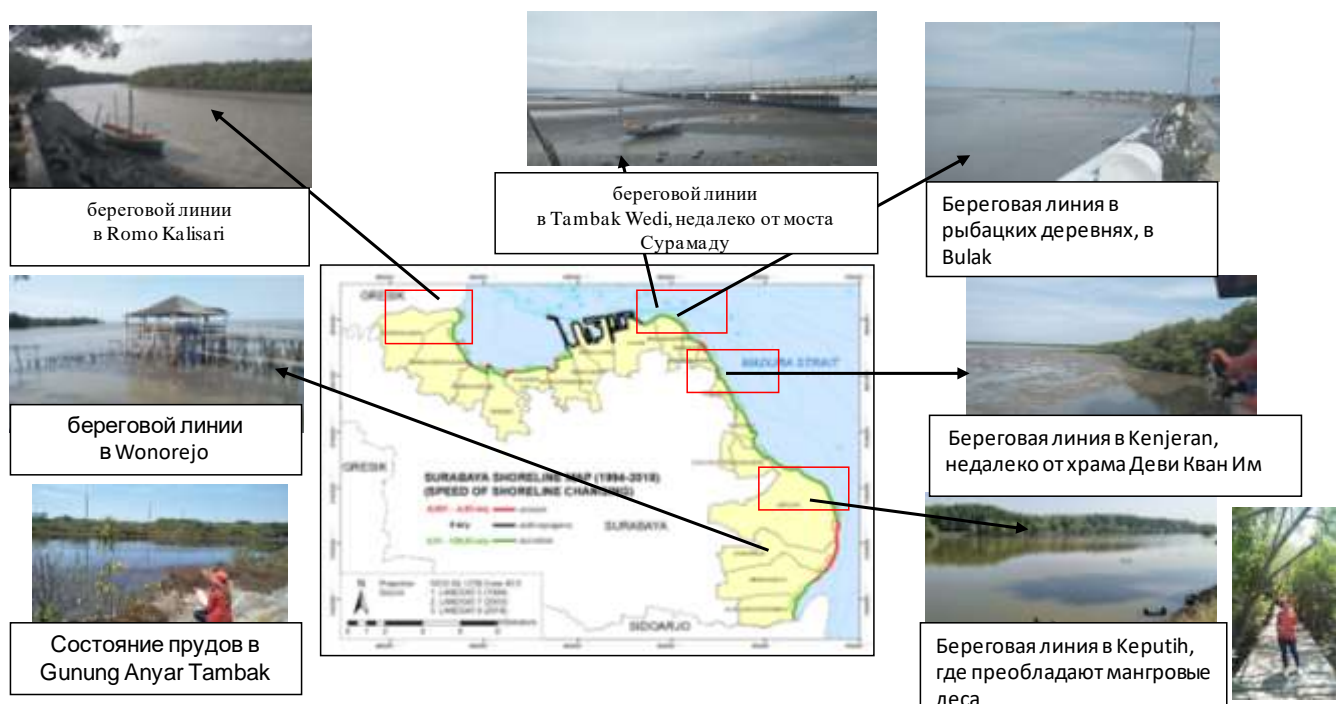


Рисунок 4.3– Карта береговой линии Сурабаи за 1994-2018 гг.

Обработка данных о ветре осуществлялась в целях определения наиболее доминирующего направления ветра. Эти данные были использованы для определения закономерности направления движения осадков. Данные регистрации ветра были получены с водной станции ТанлджунгПерак (TanjungPerak) Сурабая. Показатели фиксировались каждый час в течение 24 часов. Данные о ветре фиксировали в 2016, 2017 и 2018 г (таблица 4.2).

Основываясь на данных, приведенных в таблице 4.2, построена роза ветров (рисунок 4.4), показывающая, что доминирующее направление ветра в течение 3 лет было юго-восточное (29.79 %) и восточное (26.81 %) с наибольшей скоростью ветра 4-6 узлов. Направление осадков было с юго-востока в сторону восточного побережья Сурабаи [75].

Таблица 4.2 - Направление Ветра в Сурабае в 2016-2018 г. [75]

Процент от частоты направления ветра									
Направление ветра	Скорость ветра (узел)								Общий процент
	0 ~ 2	2 ~ 4	4 ~ 6	6 ~ 8	8 ~ 10	10 ~ 12	12 ~ 14	14 ~ 16	
С	0.79%	1.12%	0.41%	0.04%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	2.36%
СВ	1.16%	1.70%	0.98%	0.09%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	3.94%
В	1.13%	4.08%	8.43%	8.62%	3.88%	0.62%	0.05%	0.00%	26.81%
ЮВ	0.98%	6.99%	13.95%	6.10%	1.47%	0.28%	0.00%	0.00%	29.79%
Ю	0.88%	1.46%	0.53%	0.29%	0.11%	0.03%	0.00%	0.00%	3.30%
ЮЗ	1.10%	1.89%	1.26%	1.45%	0.09%	0.00%	0.00%	0.00%	5.79%
З	1.11%	3.67%	5.29%	4.26%	2.95%	2.62%	1.09%	0.38%	21.37%
СЗ	0.90%	2.09%	1.71%	0.93%	0.33%	0.36%	0.21%	0.11%	6.65%
Итого	8.06%	23.00%	32.57%	21.79%	8.83%	3.91%	1.35%	0.49%	100.00%

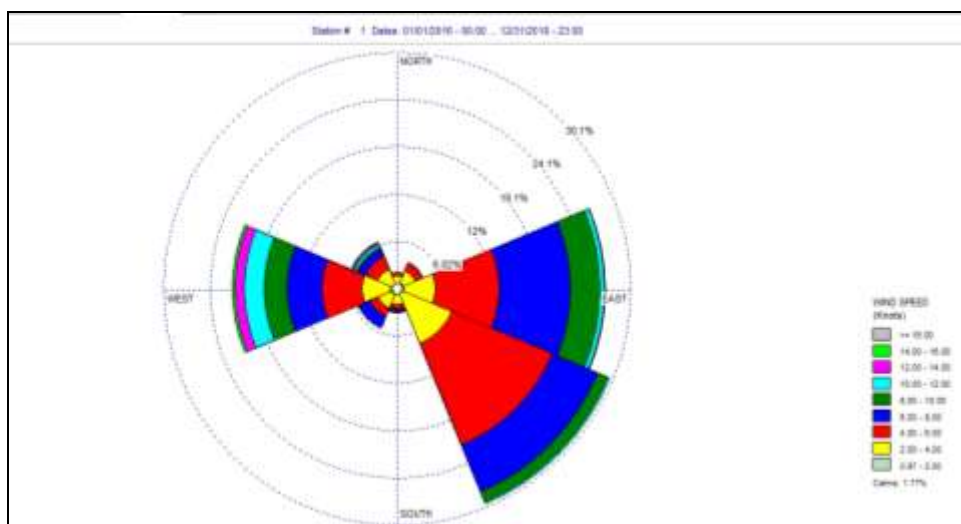


Рисунок 4.4 – Направление ветра в Сурабае в 2016-2018 гг.

4.2.1 Изменение береговой линии в Сурабае

Изменение береговой линии Сурабаи указывало на то, что в прибрежных районах Сурабаи имели место абразия берегов, аккумуляция и антропогенная деятельность. Идентификация местоположения территорий, на которых прослеживаются эти процессы, была проведена с использованием метода наложения (самая длинная береговая линия с текущей береговой линией). По результатам оцифровки видно, как изменилась береговая

линия. За последние 24 года размыв произошел в нескольких подрайонах прибрежных районов Сурабаи, таких как Вонореджо, Рунгкут (площадью 141.637,1 м²), в то время как аккумуляция зафиксирована практически во всех прибрежных районах Сурабаи, с максимумом в подрайоне Суколило (4.401.201,3 м²). Большая часть изменения береговой линии из-за антропогенной деятельности была связана со строительством порта Телук Ламонг в 2013 г. (площадью 916.068,3 м²) [7].

За 23 года (1994-2023) в 19 деревнях на побережье Сурабаи произошли изменения в площади из-за процесса аккреции (изменения в функции растительного покрова от заповедных зон к жилым районам или прудам). Его площадь в деревне Калисари составляет 4200691,5 м², в то время как общее изменение площади в результате процесса аккреции составляет 10085066,8 м². Кроме того, на побережье Сурабаи наблюдается процесс эрозии, это связано с незаконной вырубкой мангровых лесов, прибрежные сообщества все еще стремятся поддерживать заповедные зоны мангровых лесов. В общей сложности 12 прибрежных деревень внесли свой вклад в изменения на площади 214673,7 м², а в деревне Вонореджо произошло 125788,9 м² [83].

После того, как в процессе исследований были выявлены места, где произошли размыв, аккумуляция или антропогенная деятельность, был проведен анализ данных, с целью определения положения изменения береговой линии с помощью DSAS. Это позволило определить скорости преобразования берегов на конкретных участках более детально (таблица 4.3).

Таблица 4.3 - Скорость процессов размыва в Сурабае

Эрозия (1994-2018 гг.)	Район	Подрайон	Средняя скорость за 24 года (м/г)	Самая высокая скорость за 24 года (м/г)	Тип эрозии
Западная Сурабая	Беново	ТамбакОсовилангун	-0.67	-1.29	Слабая
		Асемрово	Грегес	-3.36	-4.15
	Калианак		-1.52	-2.68	Средняя
Северная Сурабая	Крембанган	Моро	-1.21	-2.06	Слабая
		Крембанган			
	Кенджеран	Булак Бантенг	-0.03 минимум	-0.03	Слабая
		Тамбак Веди	-0.7	-0.7	Слабая
	КедунгСовек	-0.62	-2.04	Слабая	
Восточная Сурабая	Суколило	Кепутих	-1.82	-3.91	Средняя
	Рунгкут	Вонореджо	-3.4 максимум	-7.24	Сильная
		Медокан Аю	-1.1	-1.8	Слабая

Статистический расчет был выполнен в *End Point Rate (EPR)* в DSAS. Установлено, что в течение 24 лет размыв берега произошел в 6 районах (10 подрайонах), которые входили в подрайон Беново и Асемрово на Западе, подрайон Крембанган и Кенджеран на Севере, а также подрайон Суколило и Рунгкут на Востоке. Скорость размыва берегов в Сурабае подразделена на следующие градации:

- слабая (нормальный): 0,01 – (-2,12) м/год;
- средняя: 2,12 – (-4,46) м/год;
- сильная: 4,46 – (-7,66) м/год (таблица 4.3).

В течение 24 лет (1994-2018 гг.) стабильные берега с самой низкой скоростью эрозии (-0,03 м/г) зафиксированы в подрайонах Булак Бантенг, в районе Кенджеран (рисунок 4.5).

Таблица 4.4 - Скорость аккумуляции в прибрежных районах Сурабаи

Аккреция (1994-2018 гг.)	Район	Подрайон	Средняя скорость за 24 года (м/г)	Максимальная скорость за 24 года (м/г)	Интенсивность аккумуляции
Западная Сурабая	Беново	Ромо Калисари	4.84	9.81	Средняя
		ТамбакОсовилангун	1.32	9.86	Средняя
	Асемрово	Тамбак Лангон	4.77	9.78	Средняя
		Грегес	2.44	4.23	Слабая
		Калианак	2.40	6.86	Слабая
Северная Сурабая	Крембанган	Моро Крембанган	5.26	14.91	Средняя
	Семампир	Уджунг	0.81 минимум	1.26	Слабая
	Кенджеран	Буак Бантенг	1.06	2.15	Слабая
		Тамбак Веди	2.85	7.22	Слабая
		КедунгСовек	1.11	3.18	Слабая
		Кенджеран	3.77	7.12	Слабая
Суколило	5.93	40.59	Сильная		
Восточная Сурабая	Мулёреджо	Дуку Сутореджо	64.18	69.7	Сильная
		Калисари	75.76 максимум	77.33	Сильная
	Суколило	Кепутих	33.81	71.75	Сильная
	Рунгкут	Вонореджо	2.94	3.94	Слабая
		Медокан Аю	8.60	16.67	Средняя
ГунунгАньяр	ГунунгАньярТамбак	11.46	17.51	Средняя	

- средняя: 8.06 – 34.76 м/г; сильная: 34.76 – 77.31 м/год

Данные показывают, что самая низкая скорость аккумуляции составила 0.81 м/г в подрайоне Уджунг, в районе Семампир, а самая высокая – 75.75 м/г в подрайоне Калисари, в районе Суколило (рисунок 4.6). По опросным данным жителей в подрайонах Суколило, Кепутиха и Калисари установлено, что была проведена мелиорация побережья и в настоящее время эта территория используется как новый жилой район. Кроме того, незаконная

вырубка мангровых зарослей с целью превратить эти территории в пруды вызвала изменение положения береговой линии. Наибольшего внимания требуют прибрежные районы Восточной Сурабаи, так как в основном наиболее интенсивный размыв берега и аккумуляция происходили в этом районе [75].

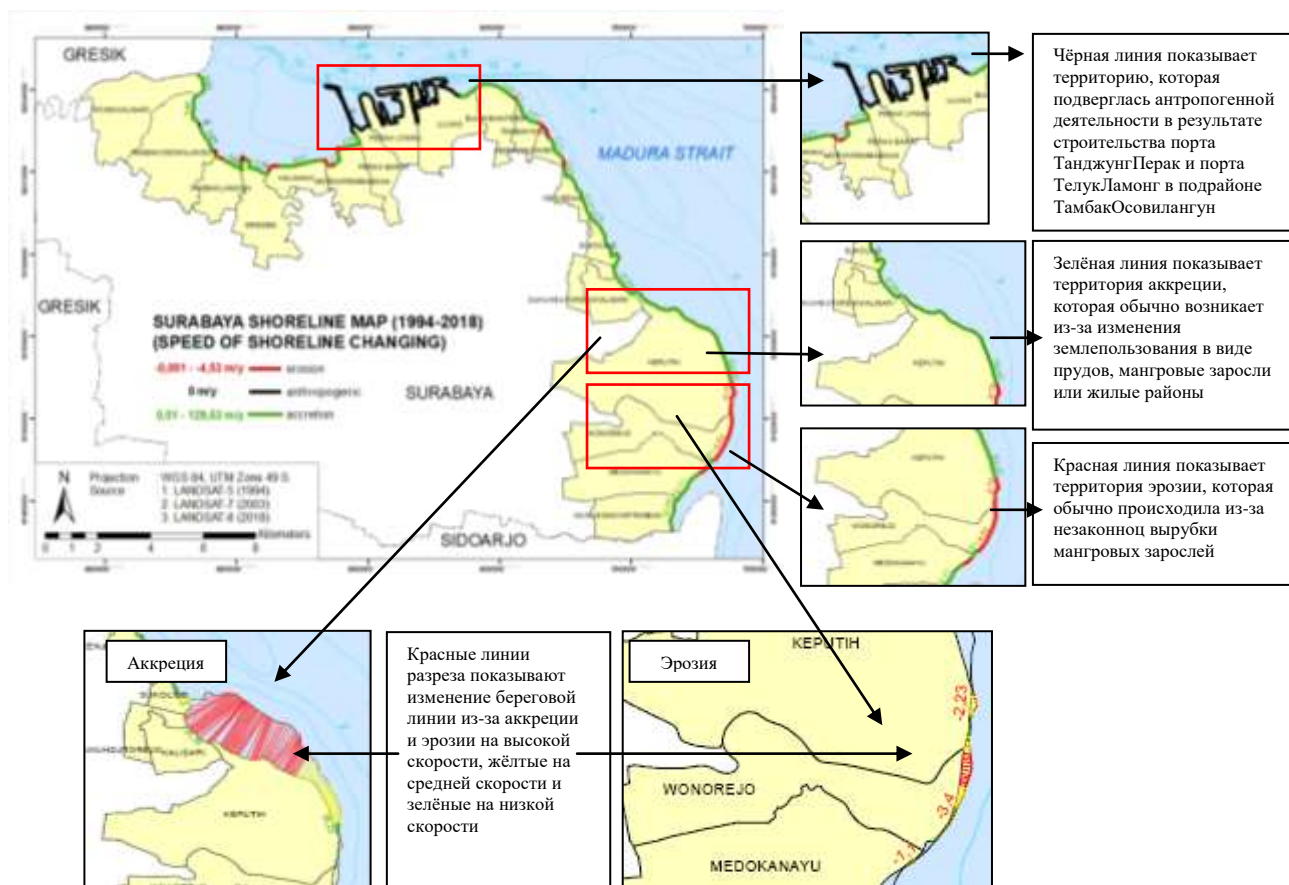
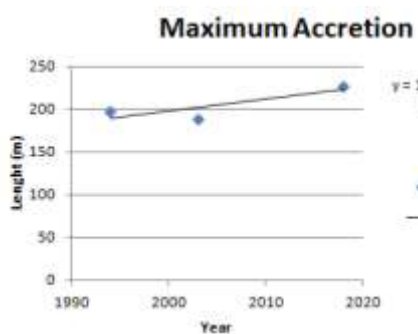


Рисунок 4.6– Карта скорости изменения береговой линии Сурабаи

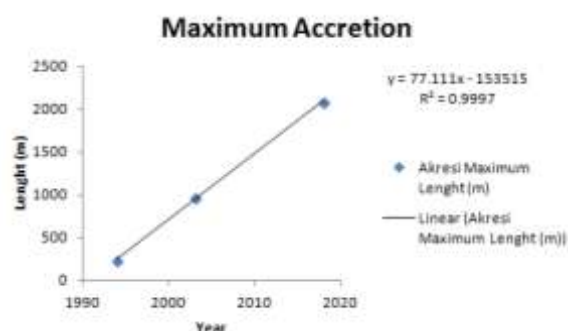
4.2.2 Прогноз изменения береговой линии в прибрежных районах Сурабаи

Следующим этапом анализа был прогноз изменения береговой линии в прибрежных районах Сурабаи на ближайшие на период (более 10 лет). Исползован линейный регрессионный анализ. Для этого определено максимальное значение разницы расстояния по разрезам на береговой линии 1994 года и береговой линии 2018 года. Исходя из этой разницы было определено изменение положения береговой линии, которое может

произошли на этих участках (2020-2030 гг.). Результаты расчетов методом линейного регрессионного представлены на рисунках 4.8 и 4.9.

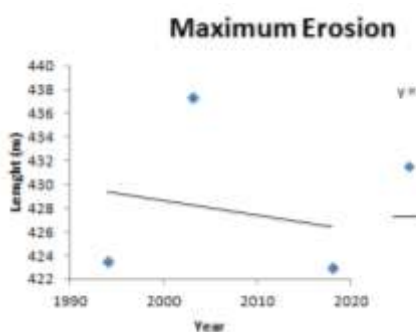


Подрайон Уджунга, район Семампира, Северная Сурабая (Минимальное Значение)

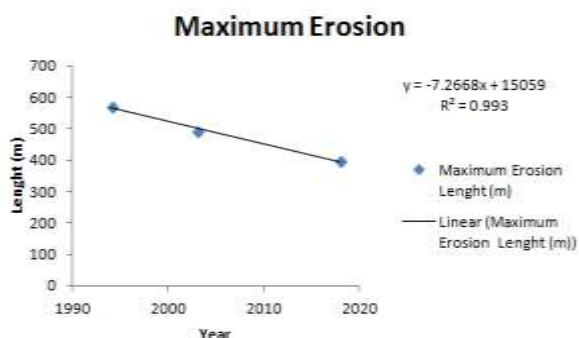


Подрайон Калисари, район Мулёреджо, Восточная Сурабая (Максимальное Значение)

Рисунок 4.8 –График изменения береговой линии Сурабаи из-за процессов аккумуляции



Подрайон Булак Бантенга, район Кенджерана, Северная Сурабая (Минимальное Значение)



Подрайон Вонореджо, район Рунгкута, Восточная Сурабая (Максимальное Значение)

Рисунок 4.9 –Графики изменения береговой линии из-за процессов размыва

Прогноз аккумуляции составлялся для Западной Сурабаи (подрайоны Ромо Калисари и Тамбака Осовилангун) и района Асемрово (подрайон Грегеса и Калианака). Самое высокое прогнозируемое значение аккумуляции (таблица 4.5) на следующие составило 98,034 м в районе Беново (подрайон Тамбака Осовилангун) [75].

Таблица 4.5 - Прогноз аккумуляции в Западной Сурабае

Год	Беново		Асемрово	
	РомоКалисари	ТамбакОсовилангун	Грегес	Калианак
2020	381.37	399.87	252.46	402.61
2021	391.15	409.67	256.43	409.70
2022	400.98	419.47	260.43	416.79
2023	410.70	429.28	264.43	423.88
2024	420.48	439.08	268.43	430.97
2025	430.26	448.89	272.43	438.06
2026	440.04	458.69	276.43	445.15
2027	449.82	468.49	280.44	452.24
2028	459.60	478.29	284.44	459.33
2029	469.37	488.09	288.44	466.42
2030	479.15	497.90	292.44	473.51
Общее изменение (м)	97.78	98.03	40.01	70.90

Прогноз размыва берегов в Западной Сурабае выполнен для двух районов: Беново (подрайон Тамбака Осовилангун) и район Асемрово (подрайон Грегеса и Калианак). Самое высокое прогнозируемое значение отступление берега составило –34,281 м в районе Беново (подрайон Тамбака Осовилангуна) (таблица 4.6) [75, 79].

Таблица 4.6 - Прогноз эрозии в Западной Сурабае

Год	Беново	Асемрово	
	ТамбакОсовилангун	Грегес	Калианак
2020	216.36	451.34	180.91
2021	215.07	447.91	178.60
2022	213.78	444.48	176.29
2023	212.49	441.05	173.98
2024	211.20	437.63	171.67
2025	209.91	434.20	169.36
2026	208.61	430.77	167.05
2027	207.32	427.34	164.74
2028	206.03	423.91	162.43
2029	204.74	420.48	160.12
2030	203.45	417.05	157.81
Общее изменение(м)	-12.92	-34.281	-23.10

Прогноз аккумуляции в Северной Сурабае составлялся для трёх районов: Крембанган (подрайон Моро Крембангана), район Семампир (подрайон Уджунга), и район Кенджерана (подрайон Булака Бантенга, Тамбака Веди, КедунгаСовек, Кенджерана и Суколило). Самое высокое прогнозируемое значение аккумуляции (таблица 4.7) составило 414,78 м в районе Кенджерана (Подрайон Суколило).

Таблица 4.7 - Прогноз аккумуляции в Северной Сурабае

Год	Крембанган	Семампир	Кенджеран				
	Моро Крембанган	Уджунг	Булак Бантенг	Тамбак Веди	КедунгС овек	Кенджеран	Суколило
2020	653.5	226.14	569.29	518.35	491.99	445.12	1432.56
2021	668.33	227.54	571.61	525.70	495.21	452.73	1474.04
2022	683.15	228.93	573.94	533.05	498.43	460.35	1515.52
2023	697.98	230.33	576.26	540.40	501.65	467.97	1556.99
2024	712.80	231.73	578.59	547.74	504.87	475.58	1598.47
2025	727.63	233.12	580.91	555.09	508.09	483.20	1639.95
2026	742.45	234.52	583.23	562.44	511.31	490.81	1681.43
2027	757.28	235.92	585.56	569.79	514.53	498.43	1722.91
2028	772.10	237.31	587.88	577.14	517.75	506.05	1764.38
2029	786.93	238.71	590.21	584.48	520.97	513.66	1805.86
2030	801.75	240.107	592.53	591.83	524.19	521.28	1847.34
Общее изменение (м)	148.25	13.97	23.24	73.48	32.22	76.16	414.78

Прогноз эрозии в Северной Сурабае составлялся для двух районов: район Крембангана (подрайон Моро Крембанган) и район Кенджерана (подрайоны Булак Бантенга, Тамбака Веди и КедунгаСовека). Самое высокое прогнозируемое значение размыва на следующие 11 лет (таблица 4.8) составило –22,936 м в районе Кенджерана (подрайон КедунгаСовека).

Таблица 4.8 - Прогноз размыва берегов в Северной Сурабае

Год	Крембанган	Кенджеран		
	Моро Крембанган	Булак Бантенг	Тамбак Веди	КедунгСовек
2020	478.38	426.25	399.74	355.73
2021	476.56	426.13	398.91	353.43
2022	474.74	426.01	398.07	351.14
2023	472.93	425.89	397.25	348.8472
2024	471.11	425.77	396.42	346.55
2025	469.30	425.65	395.60	344.26
2026	467.48	425.53	394.77	341.96
2027	465.66	425.41	393.94	339.67
2028	463.85	425.28	393.11	337.38
2029	462.03	425.16	392.28	335.09
2030	460.21	425.04	391.45	332.79
Общее изменение (м)	-18.16	-1.21	-8.28	-22.94

Прогноз аккумуляции в Восточной Сурабае составлен для четырех районов: Мулёреджо (подрайоны Дукуха Сутореджо и Калисари), Суколило (подрайон Кепутиха), Рунгкута (подрайоны Вонореджо и Медокан Аю) Гунунга Аньяра (подрайон Тамбака Гунунга Аньяра). Самое высокое прогнозируемое значение аккумуляции составило 771.11 м в районе Мулёреджо (подрайон Калисари) (таблица 4.9).

Прогноз размыва Восточной Сурабае составлялся для двух районов: Суколило (подрайон Кепутиха) и Рунгкута (подрайоны Вонореджо и Медокана Аю). Самое высокое прогнозируемое значение размыва берегов составило -72,67 м в районе Рунгкута (подрайон Вонореджо) (таблица 4.10).

Таблица 4.9 - Прогноз аккумуляции в Восточной Сурабае

Год	Мулёреджо		Суколило	Рунгкут		ГунунгАньяр
	ДукуСутуреджо	Калисарин	Кепути	Вонореджо	Медокан Аю	ТамбакГунунгАньяр
2020	2114.68	2249.22	2190.04	352.00	699.14	697.1
2021	2184.86	2326.33	2260.84	355.75	715.50	714.11
2022	2255.05	2403.44	2331.64	359.49	731.85	731.11
2023	2325.23	2480.55	2402.45	363.24	748.21	748.12
2024	2395.42	2557.66	2473.25	366.98	764.57	765.12
2025	2465.6	2634.78	2544.05	370.73	780.93	782.13
2026	2535.78	2711.89	2614.85	374.48	797.28	799.13
2027	2605.97	2789.00	2685.65	378.22	813.64	816.14
2028	2676.15	2866.11	2756.46	381.97	829.99	833.14
2029	2746.34	2943.22	2827.26	385.71	846.35	850.15
2030	2816.52	3020.33	2898.06	389.46	862.71	867.15
Общее изменение (м)	701.84	771.11	708.02	37.45	163.57	170.05

Таблица 4.10 - Прогноз размыва берегов в Восточной Сурабае

Год	Суколило	Рунгкут	
	Кепути	Вонореджо	Медокан Аю
2020	390.31	380.06	280.448
2021	386.69	372.80	278.60
2022	383.06	365.53	276.76
2023	379.44	358.26	274.92
2024	375.814	350.99	273.09
2025	372.19	343.73	271.25
2026	368.57	336.46	269.41
2027	364.94	329.20	267.57
2028	361.32	321.93	265.73
2029	357.69	314.66	263.90
2030	354.07	307.40	262.06
Общее изменения(м)	-36.24	-72.67	-18.38

4.3 Результаты классификации земельного покрова побережья за 1994-2018 гг.

Изменение растительного покрова, на которое влияет рост населения в прибрежных районах, тесно связано с изменением береговой линии.

Изменения растительного покрова и береговой линии влияют друг на друга. Изменение растительного покрова может вызвать изменение береговой линии, а изменение береговой линии может вызвать изменение растительного покрова. Изменение береговой линии – это то, как положение береговой линии меняется с течением времени [88]. Помимо воздействия волн, приливов, ветров, изменения уровня моря, размыв, аккумуляция и антропогенного вмешательства, изменение растительного покрова в прибрежных районах может напрямую влиять на положение береговой линии [12].

Сурабая, второй по величине город Индонезии и столица провинции Восточная Ява, имеет высокую плотность населения. В прибрежных районах кроме жилых районов находятся и промышленные зоны. То, что большая часть города Сурабаи представляет собой низменность со средней высотой 7,42 метра, безусловно, уязвима из-за повышения уровня моря продолжится [24]. Подъем уровня может нарушать социально-экономическую деятельность и инфраструктуру, особенно в прибрежных районах.

Земельный покров и береговая линия связаны друг с другом. Изменение береговой линии в Сурабе может вызвать изменение земельного покрова в прибрежных районах. Следовательно, требуется постоянный мониторинг как береговой линии, так и земельного покрова. Это можно успешно решать с помощью данных дистанционного зондирования, отслеживая изменения земельного покрова [72]

В этом исследовании земельный покров был разделен на 6 классов [70, 72, 73, 74]: городские районы, мангровые заросли, пустые земли, пруды, растительность и водоемы. Спутниковые снимки «Landsat» по классификации земного покрова в 1994, 2003, и 2018 показаны на рисунке 4.10.

На рисунке 4.10 визуальны показаны результаты классификации земного покрова, в таблице 4.11 показана количественная классификация земного покрова.

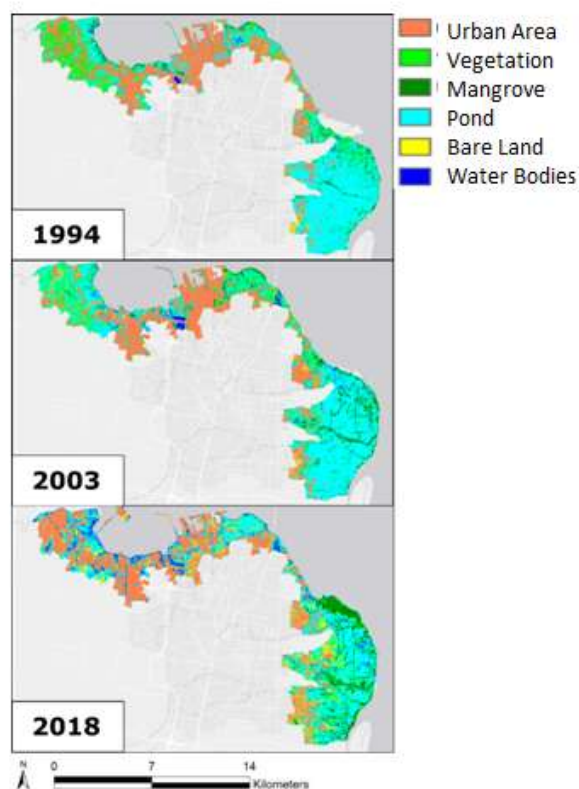


Рисунок 4.10– Классификация земного покрова в 1994, 2003, и 2018г.Спутниковые снимки «Landsat»

Таблица 4.11 - Классификация земельного покрова прибрежных районовСурабаи в 1994, 2003, и 2018 гг. [74]

Класс	1994 (км ²)	2003 (км ²)	2018 (км ²)	Изменение за 24 года (1994 – 2018) (км ²)
Городские районы	28.60 (31%)	25.89 (27%)	31.49 (31%)	2.89
Растительность	11.93 (13%)	10.42 (11%)	5.22 (5%)	–6.71
Мангровые заросли	4.56 (5%)	7.40 (7%)	8.63 (8%)	4.07
Пруд	45.46 (49%)	49.65 (51%)	39.09 (38%)	–6.37
Пустая Земля	1.56 (1%)	1.95 (2%)	9.35 (9%)	7.79
Водоемы	0.73 (1%)	2.0358 (2%)	8.65 (9%)	7.91

За последние 24 года площадь застройки увеличилась на 2,8 км² из-за экономического роста, который привел к развитию промышленных зон в Западной и Северной Сурабае. Кроме того, в Восточной Сурабае появились новые жилые районы из-за миграции людей, которые в поисках работы решили перманентно жить в Сурабае. Застройщики жилья воспользовались возможностью построить доступное небольшое жилье в Сурабае.

Районы мангровых лесов расширились от 4.56 км² в 1994 до 8.63 км² в 2018. Это указывает на то, что возникло 4068 км² новых мангровых лесов благодаря осознанию важности сохранения мангровых лесов и сотрудничеству между правительством и местным сообществом [74]. Помимо использования в качестве природоохранной зоны, мангровый лес является туристической зоной. Некоторые примеры прибрежных районов, в которых произошли наиболее заметные изменения земного покрова, показаны на рисунке 4.11.

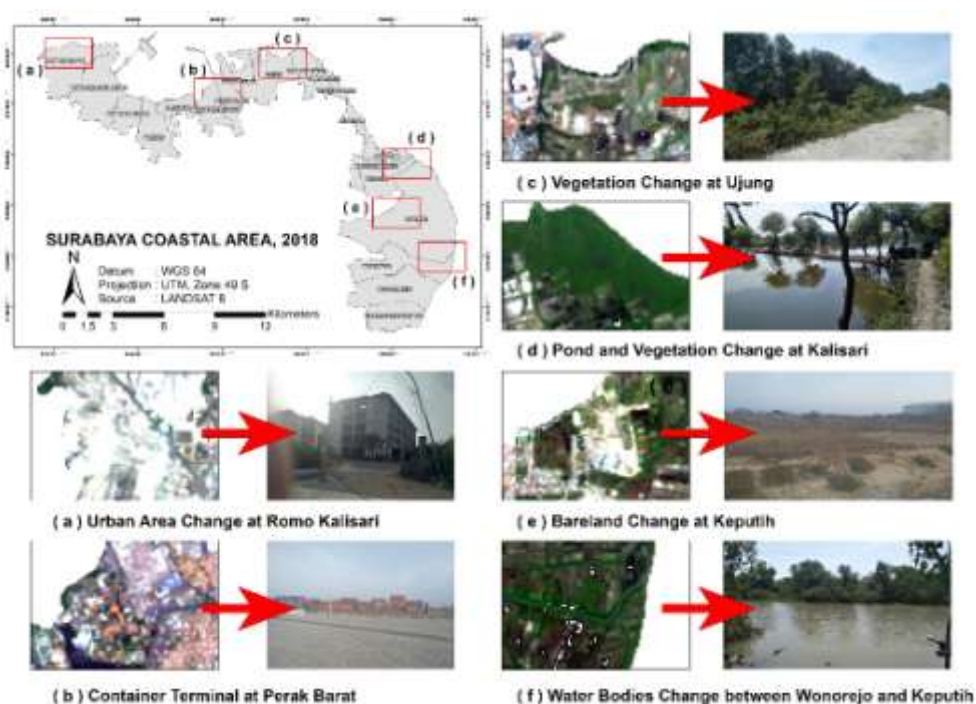


Рисунок 4.11—Прибрежные районы с наиболее заметным изменением земельного покрова

На рисунке 4.12 показаны данные классификации земельного покрова в процентах. Прибрежная зона в 1994 году состояла из прудов (49%), городского района (31%), растительности (13%), мангровых зарослей (5%), водоемов (1%) и пустой земли (1%). Между тем, прибрежная зона в 2003 году состояла из прудов (51%), городского района (27%), растительности (11%), мангровых зарослей (7%), водоемов (2%), и пустой земли (2%). Прибрежная зона в 2018 году состояла из прудов (38%), городского района (31%), водоемов (9%), пустой земли (9%), мангровых зарослей (8%), и растительности (5%) [74].

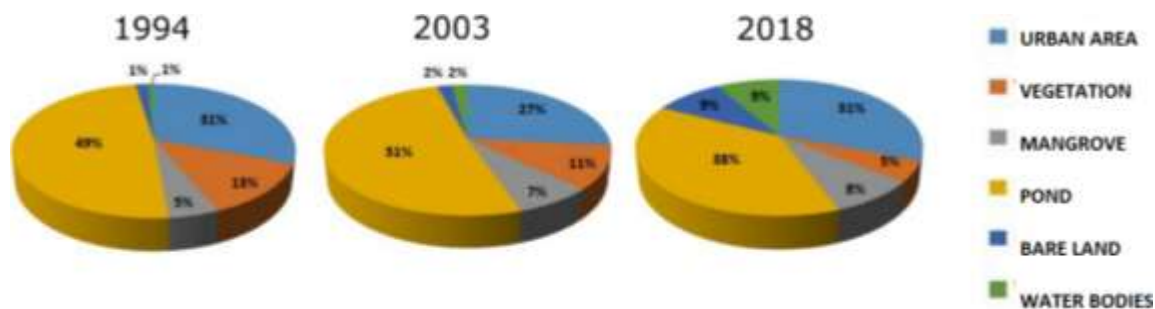


Рисунок 4.12– Процентная доля каждого земельного покрова в 1994, 2003 и 2008 г.

4.3.1 Результаты наблюдений за состоянием земельного покрова с помощью спутниковых снимков «Sentinel-2» в 2018 г.

Спутниковый снимок «Sentinel - 2» имел разрешение 10 метров, поэтому данные о земельном покрове были гораздо достовернее. Результат классификации земельного покрова с использованием спутникового снимка «Landsat- 2» показан в таблице 4.12. По данным спутникового снимка «Landsat- 2», прибрежная зона в 2018 году состояла из прудов (45%), городского района (32%), пустой земли (8%), растительности (7%), мангровых зарослей (5%), и водоемов (3%).

В таблице 4.12, приведена разница между результатами, полученными со спутниковых снимков Landsat, и данными о земельном покрове, полученными со спутникового снимка Sentinel - 2 в 2018 году. Например, класс растительности отличался на 2%, класс мангровых зарослей отличался на 3%, класс пруда отличался на 7% и класс водоемов отличался на 6%. Класс земельного покрова, который был почти одинаковым, это городской район отличался на 1% и класс пустоши отличался на 1%. Эти различные результаты были получены из-за различий в разрешении, которое привело к различным интерпретациям классификации земельного покрова. Однако, процентная разница менее 10% указывает на незначительную разницу между

снимками Landsat и Sentinel - 2. Таким образом, спутниковые снимки Landsat могут предоставить достаточно допустимые данные о земельном покрове.

Земельный покров и береговая линия связаны друг с другом. Изменение береговой линии в Сурабае может вызвать изменение земельного покрова в прибрежных районах. Следовательно, требуется периодический мониторинг как береговой линии, так и земельного покрова. С помощью дистанционного зондирования, есть возможность отслеживать изменения земельного покрова.

Таблица 4.12 - Сравнение данных о земном покрове, полученных со спутниковых снимков «Landsat» и «Sentinel – 2» в 2018 году

Класс	Спутниковые Снимки Landsat (км ²)	Спутниковый снимок Sentinel-2 (км ²)
Городской район	31.49 (31%)	33.6 (32%)
Растительность	5.22 (5%)	7.54 (7%)
Мангровые заросли	8.63 (8%)	4.61 (5%)
Пруд	39.09 (38%)	47.01 (45%)
Пустая земля	9.35 (9%)	8.77 (8%)
Водоемы	8.65 (9%)	2.71 (3%)

Земельный покров в Сурабае изменился за последние 24 года из-за роста населения, поэтому некоторые классы изменились свои функции. Например, класс пруда изменен на класс городского района. Кроме того, класс мангровых зарослей был изменен на класс пруда или наоборот. Восточная Сурабая была районом, который резко изменился. Раньше большую часть районов Восточной Сурабаи занимали пруды и мангровые заросли, но из-за притока трудовых мигрантов из других городов класс прудов и мангровых зарослей изменился на класс жилых районов. Наблюдения показали, что районы Восточной Сурабаи (подрайоны Мулёреджо, Суколило, Рункута, Гунунга Аньяра) изменили класс прудов на класс городских районов, а класс мангровых зарослей – на класс прудов. По

опросным данным подрайон Кепутиха за последние 20 лет сменил класс прудов на класс городских районов [74] (рисунок 4.13).

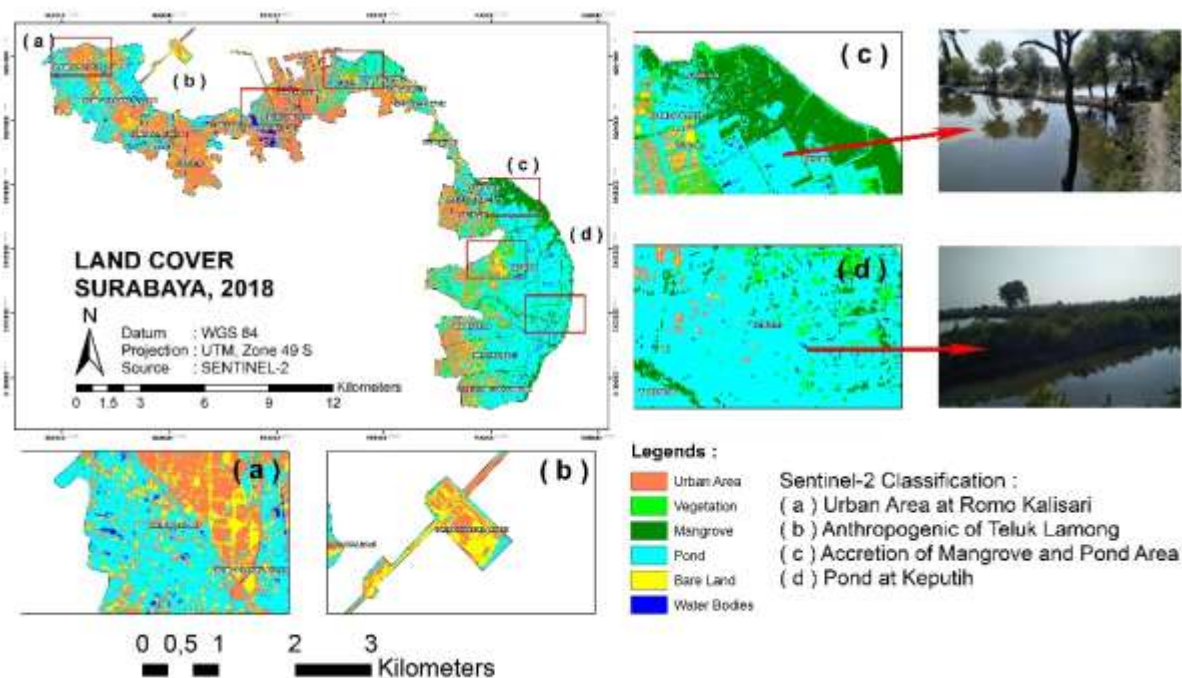


Рисунок 4.13– Карта земельного покрова прибрежных районов Сурабаи в 2018 г. на основе спутникового снимка «Sentinel - 2»

Большая часть прудов и мангровых зарослей в Восточной Сурабаенаходились недалеко друг от друга. Аккумуляция в подрайонах ДукуСутореджо, Калисари и Суколило привела к расширению прибрежных районов и там были посажены мангровые заросли. Раньше было много изменений в земельном покрове мангровых зарослей на пруда или городских районов, но правительство Сурабаи поддержало сохранение мангровых лесов. Увеличение площади мангровых лесов явилось результатом сотрудничества между правительством и местным сообществом по защите мангровых лесов в Сурабае, которые были задуманы как туристическая и образовательная зона [80, 82, 83].

4.3.2 Оценка точности

Авторы провели местное наблюдение в 2018 году, чтобы убедиться, что классификация земного покрова на спутниковых снимках соответствует реальным условиям. Данные сравнивались со спутниковыми снимками Landsat и Sentinel - 2. Количественная оценка проводилась путем вычисления точности, отзыва и оценки макрорезультатов – F1. Оценка макрорезультатов – F1 показала точность общих результатов земельного покрова.

В таблице 4.13 показаны результаты количественной оценки земного покрова в прибрежных районах Сурабаи в 2018 году из спутниковых снимков Landsat и Sentinel - 2. В основе количественной оценки значение земельного покрова Макро – F1 со спутниковых снимков Landsat и Sentinel - 2 было относительно высоким и составило более 0,8. Результаты этой количественной оценки также доказали, что спутниковый снимок Sentinel - 2 показывал результат земного покрова с более высоким уровнем точности (0,93), чем спутниковые снимки Landsat (0,87). Была проведена полевая проверка результатов классификации 2018 года. Полевая проверка классификации методом максимального правдоподобия показала точность 85,7 %, в то время как результаты классификации с использованием алгоритма случайного леса имеют точность 91,1% [77, 78, 79].

На рисунке 4.14 показана дистрибуция образцов местных наблюдений (точки), сопровождаемые несколькими фотографиями места наблюдения. Есть 38 точек. Цветные точки указывают на то, что данные, полученные в результате местного наблюдения, соответствуют данным, полученным с помощью спутниковых снимков, а чёрные точки указывают на то, что данные не соответствуют.

Таблица 4.13 – Результаты количественной оценки земного покрова со спутниковых снимков Landsat и Sentinel - 2 в 2018 году

Снимок	Класс	Точность	Отзыв	Оценка – F1	Макро – F1
Landsat	Городской район	0.83	0.83	0.83	0.87
	Растительность	1.00	0.83	0.91	
	Мангровые заросли	0.88	1.00	0.93	
	Пруд	0.75	0.86	0.80	
	Пустая земля	0.80	1.00	0.89	
	Водоемы	1.00	0.75	0.86	
Sentinel-2	Городской район	1.00	0.83	0.91	0.93
	Растительность	1.00	1.00	1.00	
	Мангровые заросли	1.00	1.00	1.00	
	Пруд	0.75	0.86	0.80	
	Пустая земля	1.00	1.00	1.00	
	Водоемы	0.88	0.88	0.88	

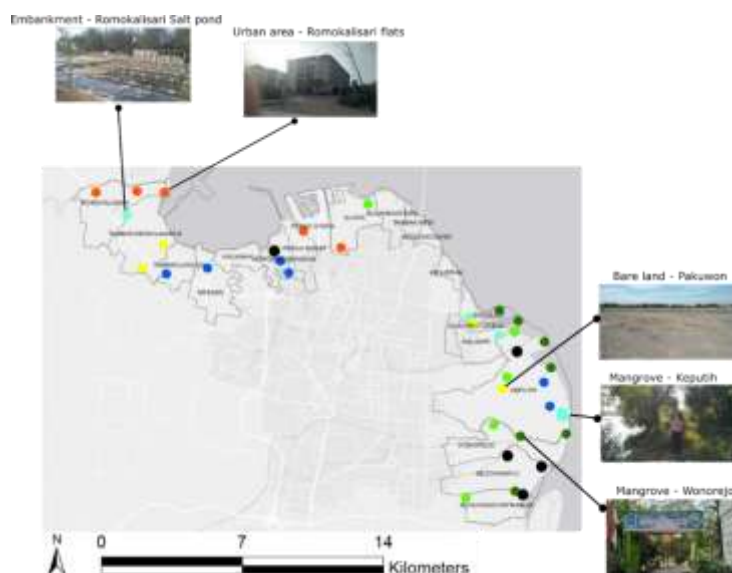


Рисунок 4.14–Дистрибуция образцов местных наблюдений (точки), сопровождаемые несколькими фотографиями места наблюдения

4.3.3 Феномен изменения земного покрова в зонах аккумуляции и размывана побережье Сурабаи

Данные получены в результате наложения береговых линий, которые подверглись аккреции и антропогенному изменению земного покрова в течение 1994-2018 гг. Данные таблицы 4.14 показывают, что в подрайоне ТамбакаОсовилангуна произошло наибольшее увеличение городского района

(545.400 м²). Это связано со строительством порта ТелукаЛамонга. Подрайон Кепутиха испытал дополнительный рост в области мангровых зарослей (1079,100 м²), прудов (898.200 м²), растительности (657.900 м²) и водоемах (1.541.700 м²). Кроме того, в подрайоне Калисари тоже наблюдается рост количества мангровых зарослей (113.400м²), прудов (216.000 м²), растительности (124.200 м²) и водоемов (359.100 м²).

Рисунок 4.15 показывает, что явление аккумуляции в течение более 20 лет в основном происходило в Восточной Сурабае, особенно в подрайонах ДукуСутореджо, Калисари, Кепутиха, Медокана Аю и ТамбакаГунунгАньяра. Изменение земного покрова, которое произошло: восстановление мангровых зарослей с появлением дополнительного класса растительности, изменение функции мангровых зарослей в пруды или наоборот.

Размыв берега произошел в некоторых районах Сурабаи. В Восточной Сурабае процесс эрозии затронул различные классы земель. На основании таблиц 4.14, 4.15 данные которых показывают, что подрайон Вонореджо потеряла свой класс мангровых зарослей (31.500 м²), пруда (71.100 м²), и растительности (26.100 м²). Кроме того, подрайон Кепутиха испытывал то же самое, за более чем 20 лет эрозия уничтожала класс мангровых зарослей (14.400 м²), пруда (12.600 м²), и растительности (9.900 м²).

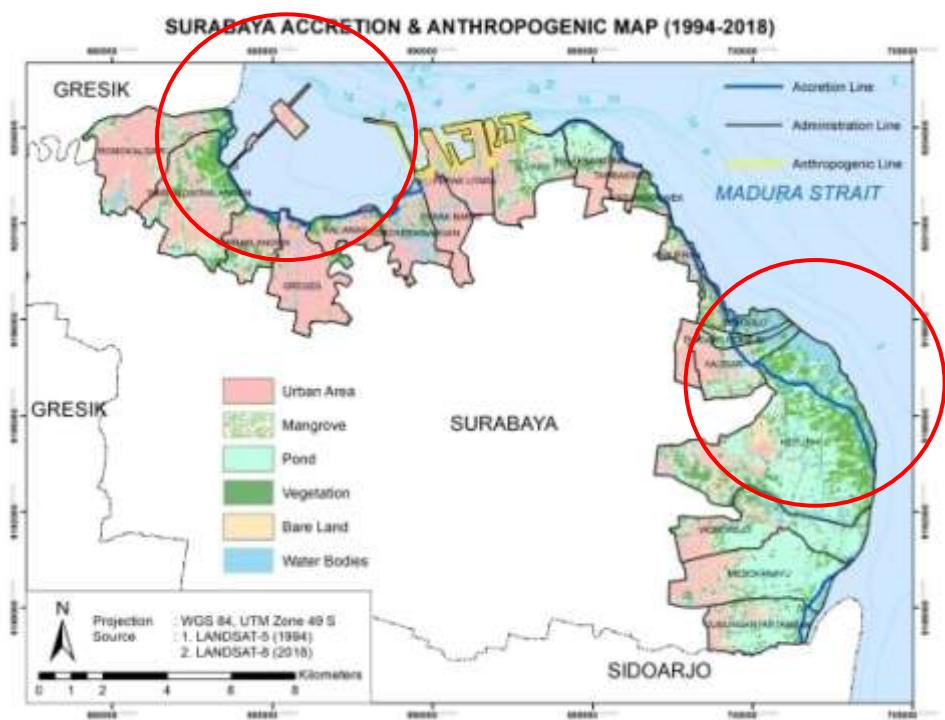


Рисунок 4.15– Районы на побережье, в которых наблюдается рост классовых районов

Процесс размыва на побережье Восточной Сурабаи вызван изменением функций землепользования, это почти то же самое, что и процесс аккумуляции (рис. 4.16) [74].

Таблица 4.14 - Данные о добавлении земельного покрова в каждом прибрежном подрайоне (м²)

Подрайон	Городской район	Мангровые заросли	Пруд	Растительность	Пустая земля	Водоем
РомоКалисари	16200	55800	6300	10800	12600	6300
ТамбакОсовилангун	545400	203400	88200	26100	153900	24300
ТамбакЛангон	9900	52200	1800	3600	1800	3600
Грегес	9900	52200	4500	0	0	900
Калианак	47700	60300	900	0	5400	6300
МороКрембанган	67500	48600	26100	900	2700	26100
Западный Перак	109800	9900	15300	6300	19800	900
Северный Перак	247500	13500	8100	900	15300	4500
Уджунг	84600	33300	18000	2700	5400	29700
Булак Бантенг	1800	7200	900	29700	0	4500
Тамбак Веди	7200	14400	4500	32400	6300	23400
КедунгЧовек	12600	2700	14400	5400	2700	900
Кенджеран	51300	13500	30600	19800	11700	1800
Суколило	42300	45900	81000	387000	9900	592200
ДукуСутореджо	19800	76500	69300	63900	8100	258300
Калисари	90000	113400	216000	124200	34200	359100
Кепути	4500	1079100	898200	657900	2700	1541700
Вонореджо	0	900	13500	0	0	0
Медокан Аю	0	21600	135000	69300	0	83700
ТамбакГунунганьяр	0	45900	119700	27900	0	93600

Таблица 4.15- Данные о потере земного покрова в каждом прибрежном районе (по м²)

Подрайон	Городско йрайон	Мангровые заросли	Пруд	Расти- тельности	Пустаязе мля	Водоем
РомоКалисари	0	0	0	0	0	0
ТамбакОсовил ангун	0	1800	0	0	0	900
ТамбакЛангон	0	2700	0	900	0	0
Грегес	2700	0	0	6300	0	0
Калианак	0	6300	0	4500	0	7200
МороКрембанг ан	2700	900	0	0	0	2700
ЗападныйПера к	0	0	0	0	0	0
СеверныйПера к	0	0	0	0	0	0
Уджунг	0	0	0	0	0	0
БулакБантенг	0	0	0	0	0	0
ТамбакВеди	1800	0	0	0	0	0
КедунгЧовек	1800	0	0	1800	0	0
Кенджеран	0	0	0	0	0	0
Суколило	0	0	0	0	0	0
ДукуСуторедж о	0	0	0	0	0	0
Калисари	0	0	0	0	0	0
Кепути	0	14400	12600	9900	0	1800
Вонореджо	0	31500	71100	26100	3600	1800
МедоканАю	0	1800	900	1800	900	0
ТамбакГунунг Аньяр	0	0	0	0	0	0

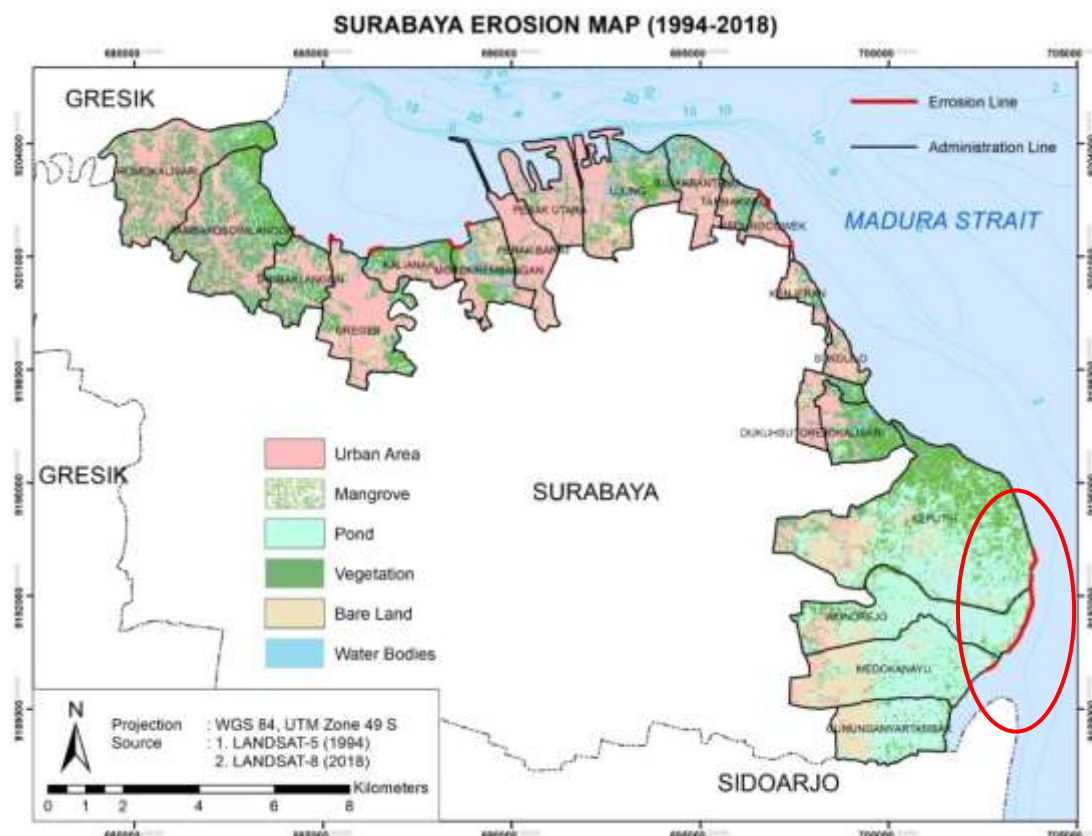


Рисунок 4.16– Районы на побережье, в которых наблюдается рост площадей классов

4.4 Влияние изменений геоэкологии прибрежных районов на социально-экономические процессы

4.4.1 Изменение земельного покрова и его связь с социально-экономическими условиями

Изменения прибрежного земельного покрова являются частью изменений земельного покрова Сурабаи. Таким образом, процесс расчёта земельного покрова Сурабаи выполняется с использованием спутниковых снимков. Данные снимков показывают, что самый большой по площади земельный покров Сурабаи в 1994 году состоял из городского района (44%), прудов (22%), растительности (18%), пустошей (11%), мангровых зарослей (4%), и водоемов (1%). Между тем, земельный покров Сурабаи в 2003 году состоял из городского района (41%), прудов (26%), растительности (24%),

мангровых зарослей (5%), водоемов (3%) и пустой земли (1%). Земельный покров Сурабаи в 2018 году состоял из городского района (50%), пруда (19%), растительности (17%), пустой земли (7%), мангровых зарослей (4%), и водоемы (3%). Увеличение площади в Сурабае влияет на увеличение населения (таблица 4.16).

За 24 года, площадь Сурабаи увеличилась (в 1994 году составляла 327 км² с населением 2 306 474 чел. В 2003 – 331 км² с населением 2 306 474 чел. Ещё через 15 лет, в 2018 году, площадь Сурабаи составляла 336 км² с населением 3 094 732 чел.).

Таблица 4.16 – Большая часть городского района Сурабаи и жители Сурабаи

Год	Общая площадь Сурабаи (км ²)	Общая площадь городского района (км ²)	Площадь прибрежных районов	Население Сурабаи
1994	327.02	142.23	28.60 (20%)	2.306.47
2003	331.46	136.64	25.89 (19%)	2.659.57
2018	336.59	170.49	31.49 (18%)	3.094.73

Класс городских районов – это совокупность населенных пунктов, промышленных зон и зон общественной деятельности (туризм, школы, общественные объекты и т.д.). Данные снимков показывают, что городской район Сурабаи в 1994 году составлял 142 км² из них 28 км² расположено на побережье (20%). В 2003 году площадь городского района Сурабаи уменьшался на 136 км²; на 25 км² в прибрежной зоне (19%). В 2018 году площадь городского района Сурабаи достигала 170 км² и около 31 км² на побережье Сурабаи (18%). Существование городских районов на побережье связано с увеличением населения (рождаемость и миграция). Кроме того, есть ещё и промышленные зоны на побережье Западной и Северной Сурабаи, такие как причалы по погрузке-разгрузке судов, предприятия текстильной промышленности, порты и т.д.

4.4.2 Анализ городского района в прибрежной Сурабае

Мониторинг изменений земельного покрова с использованием спутниковых снимков Landsat из-за малого разрешения не всегда достоверен. Каждый год обычно площадь городского района Сурабаи увеличивается, но в последние годы она заметно уменьшилась: на 37,17 км² в 2015 году, на 39,69 км² в 2017 году и 31,49 км² в 2018 году. На основе мониторинга с использованием спутниковых снимков Landsat за 2011-2018 гг. установлено, что класс городских районов составляет около 18-44% в прибрежной зоне Сурабаи. Таким образом, площадь городского района прибрежных районов за 2011-2018 гг. увеличилась на 9,36 км² (рисунок 4.17) [74].

Данные таблицы 4.17 показывают, что увеличение класса городского района прибрежной Сурабаи приводит к росту населения на побережье. В 2018 году население Сурабаи составило 3.094.732 чел. и около 341.131 (11%) живут на побережье. Каждый год население на побережье увеличилось, в 2016 году зафиксирована самая большая численность населения на побережье (около 378.867 чел.). С 2011 по 2018 гг. численность населения увеличилась на 65.894 чел. Это связано не только с рождаемостью в Сурабае, но и с явлением миграции из других городов. Мигранты сначала жили временно, но после подали заявление, чтобы стать жителями Сурабаи. Это одна из причин увеличения городского района на побережье, которые изначально были территориями прудов и мангровых зарослей. Большинство изменений произошло в подрайоне Кепутиха, в подрайоне Вонореджо и в подрайоне Тамбак Гененг Аньяр [76].

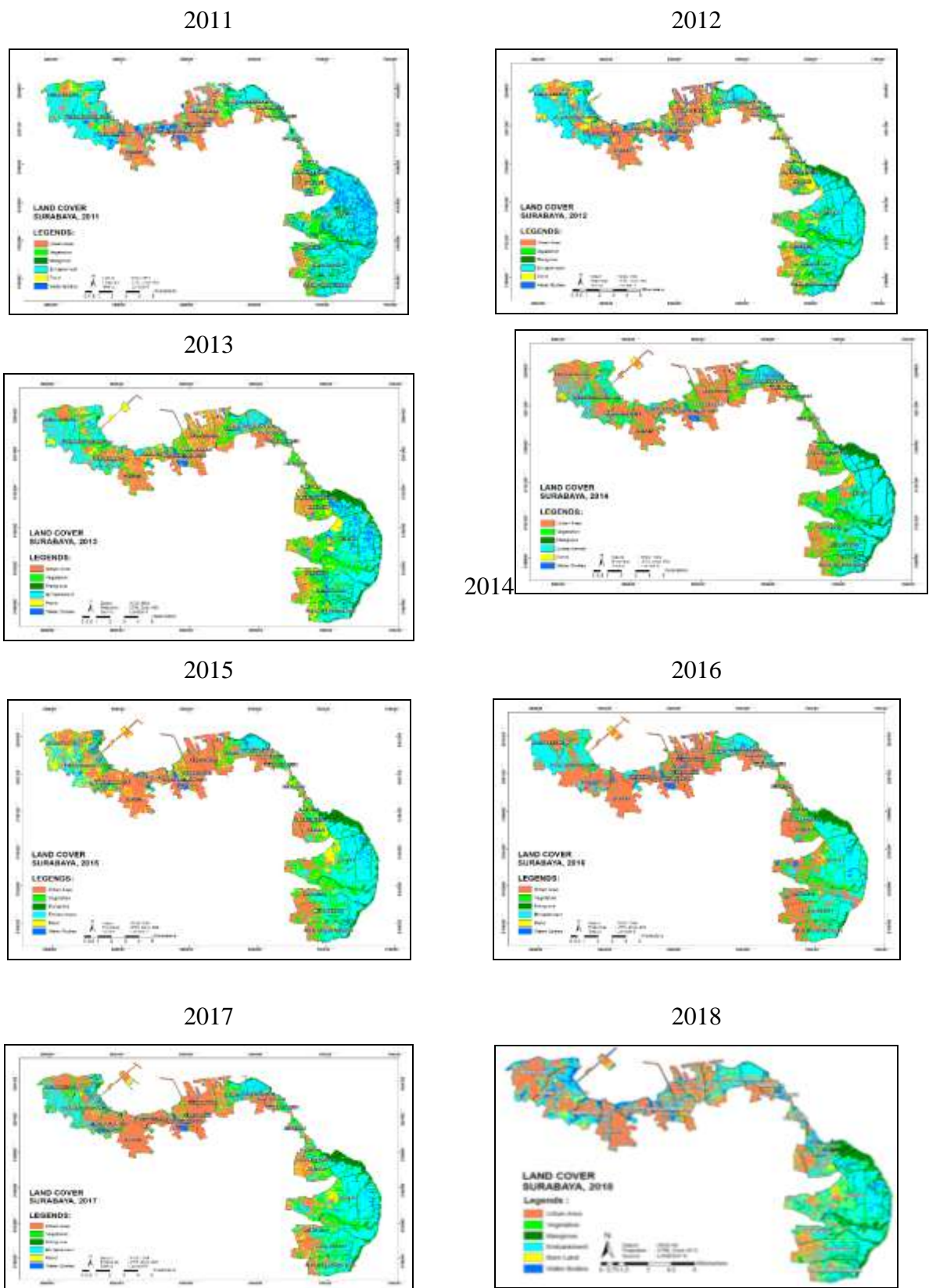


Рисунок 4.17 – Прибрежный земельный покров за 2011-2018 гг.

[76, 77, 78, 79]

Таблица 4.17 - Общий городской район и население Сурабаи

Год	Общая береговая площадь (км ²)	Общий городской район Сурабаи на побережье (км ²)	Население на береговой площади
2011	99,43	22,13 (22%)	275.24
2012	99,92	24,42 (24%)	256.02
2013	101,06	25,84 (26%)	298.05
2014	102,44	37,19 (36%)	321.47
2015	102,02	37,17 (36%)	321.03
2016	99,76	44,31 (44%)	378.87
2017	103,01	39,69 (39%)	332.63
2018	102,42	31,49 (18%)	341.13
Итого изменения 2011-2018		9,361 км ²	65.89

Изменение растительного покрова в Сурабае, особенно в прибрежных районах, привело к наводнениям в Сурабае. Результаты исследования показывают, что районы с высоким уровнем уязвимости, как правило, расположены на равнинной местности на высоте 0-25 метров над уровнем моря с пологими формами рельефа, в районах, расположенных очень близко к водоразделам, где преобладают жилые массивы, темно-серые аллювиальные почвы и, как правило, выпадает большое количество осадков. Сурабая находится в районе с высоким уровнем уязвимости к наводнениям, площадь которого составляет 13399,46 га (40,10%). В целом, большинство районов Сурабаи, как правило, подвержены наводнениям от умеренной до очень высокой степени, что составляет 80,48% [84].

4.4.3 Анализ класса «пруды» на побережье Сурабаи

Расположение прудов и инфраструктура прудов в Сурабае постоянны. Традиционное (старое) управление имеет ряд последствий (рисунок 4.18). Качество прудов не является оптимальным с точки зрения продуктивности. Рыбоводство нуждается в современном оборудовании, например, водяные насосы. Установка водяных насосов для пруда имеет последствия, связанных с бурением до грунтовых вод и загрязнением окружающей среды вокруг пруда [70, 76].



Рисунок 4.18– Состояние прудов в Восточной Сурабае, один из них в сухом состоянии

Во время сухого сезона большинство рыболовных прудов в Сурабае меняют свою функцию на соляные пруды. Что привело к снижению объёмов рыбной продукции. Изменение функции прудов является хорошим способом для выживания рыбаков. Пруды в Сурабае также используются для любительской рыбалки [70].

Класс прудов является вторым доминирующей в прибрежной зоне Сурабаи(таблица 4.18). В 1994 году общая площадь прудов (включая рыбные и соленые пруды) составила на 72,42 км².Около 63% прудов находятся на побережье Сурабаи. В 2003 году общая площадь прудов Сурабаи составила 86,89 км² (около 57% находятся на побережье Сурабаи). В то время как в 2018 году общая площадь прудов Сурабаисократилась и составила на 64,19 км² (на побережье 61%).

Таблица 4.18 - Изменение общей площади прудов в Сурабаи

Год	Общая прудная площадь Сурабаи (км ²)	Прудная площадь прибрежной Сурабаи (км ²)	Количество прудовых рыбаков	Общее производство рыбы из пруда (т)	ВРП в секторе сельского, лесного и рыбного хозяйства (млн рупий)
1994	72,42	45,46 (63%)	1926	65.61	131.656,84
2003	86,89	49,65 (57%)	1585	8.08	27.526
2018	64,19	39,09 (61%)	2066	6.956,58	581.426,57

С 2011 по 2018 год тренд изменения площади прудов Сурабаи наблюдался как увеличение, так и на уменьшение. Изменение площади прудов с 2011 по 2018 год составило 0,4635 км² (таблица 4.19). Изменение классов земельного покрова связано с изменением прудов на мангровые заросли или новые поселения. Эти изменения классов связаны друг с другом. Количество прудов на побережье преобладает в Восточной Сурабае (подрайоны Дуку Сутореджо, Калисари, Кепутиха, Вонореджо, Медокана Аю и Тамбака Гунунга Аньяр). На основании данных изображений Landsat, класс пруда, мангровых зарослей, растительности и водоемов расположены рядом друг с другом и имеют почти одинаковое значение отражательной способности, поэтому процесс классификации иногда затруднителен.

Таблица 4.19 - Изменение в прудовом хозяйстве с 2011 по 2018 год

Год	Общая прудная площадь в прибрежной зоне (км ²)	Количество рыбаков, чел.	Общее производство рыбы (тонна)	ВРП в секторе сельского, лесного и рыбного хозяйства (*млн рупий)
2011	38,63 (39%)	2351	7923.84	440989,17
2012	30,18 (30%)	2276	7593.18	467099,53
2013	28,92 (29%)	2293	6906.10	504369,80
2014	24,40 (24%)	2029	6542.09	522264,93
2015	26,96 (26%)	2017	6785.15	547043,18
2016	27,85 (28%)	2266	6915.03	570789,40
2017	29,96 (29%)	2266	6798.68	589909,43
2018	39,09 (61%)	2066	6956.58	581426,57
Итого: 2011-2018	0,46 км ²	285	967.26	140437,4

Из-за уменьшения количества прудов в Сурабае снизилось производство прудовой рыбы. С 2011-2018 год численность прудовых рыбаков уменьшилось на 285 человек, а количество производства прудовой рыбы уменьшилось на 967.26 тонн. Рыбные пруды в Сурабае по-прежнему управляются по старинке, рыбаков не обучают выращивать прудовую рыбу, отсутствует фонд для размножения рыб, стоимость

различного оборудования для прудов высока, что не способствует развитию отрасли.

4.4.4 Экономический анализ сектора рыболовства в Сурабае

Есть два источника продукции рыболовства: морское и пресноводное рыболовство [70]. Более 20 лет (1996–2017 гг.) производство рыбы в Сурабае то увеличивалось, то уменьшалось. Общая продукция рыбы в 1996 году составила 13,442 тонн, а в 2013 году – 23,274.17 тонн. После 2013 года объёмы производства рыболовства снизились по сравнению с производственными в 1996 и 2017 гг. Рыбопроизводство в Сурабае представлено в таблице 4.20 [23]. График общего производства рыбного улова – на рисунке 4.19.

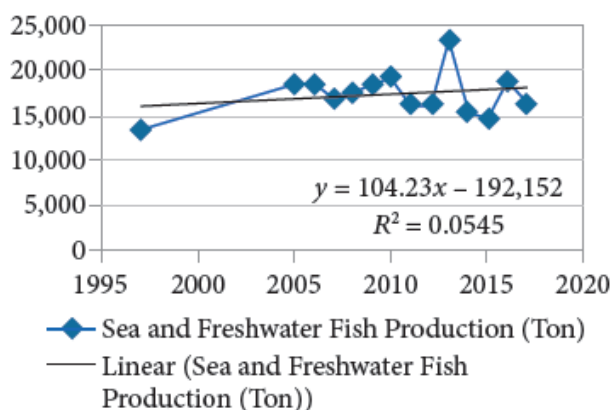


Рисунок 4.19 – График общего производства рыбного улова в Сурабае

Снижение объёмов производства рыбы в Сурабае (таблица 4.20) вызвано нехваткой у рыбаков фонда для выхода в море, они не могут покрыть расходы на топливо или чартерные лодки.

Таблица 4.20 - Производство морской и пресноводной рыбы в Сурабае в 1996-2017 гг.

Год	Производство морской и пресноводной рыбы (тонна)
1996	13,422
2005	18,483
2006	18,441
2007	16,791.88

Год	Производство морской и пресноводной рыбы (тонна)
2008	17,455.4
2009	18,326.7
2010	19,049
2011	16,231.95
2012	16,029.25
2013	23,274.17
2014	15,285.34
2015	14,954.15
2016	18,692.73
2017	16,576.83

Более того, рыбакам нужно дополнительное обучение и финансовая поддержка государства (например, займ).

Площадь города в Восточной Сурабае все чаще используется для поселений и прудов. Согласно отчёту Департамента окружающей среды города Сурабаи, в 2016 году было 15 рыбоводческих артелей, в них работало 781 человек. Самая многочисленная группа рыбоводов – RohKelemFarmer Group (132 членов) [33].

Количество уловов пресноводного рыболовства в Сурабае уменьшилось за последние пять лет на 837,86 тонн (табл. 4. 21). По данным BPS в 2012 году улов составил 8,998.09 тонн, а в 2017 – 8,160.23 тонн. Уловы этого пресноводного производства были не только из прудов, и также и из других водоемов, таких как реки и аквакультура (традиционные садки, используемые для разведения рыбы в Индонезии) [23]. Значение линейного уравнения для производства пресноводной рыбы составляет $y = -131x + 272,192$, а значение регрессии $R^2 = 0.4278$ (см. рисунок 4.20).

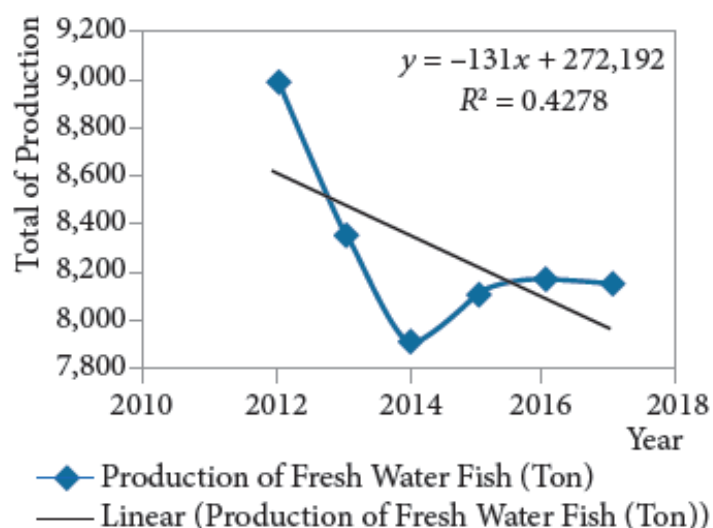


Рисунок 4.20 – График производственного улова пресноводного рыболовства в Сурабае

Таблица 4.21 - Производство пресноводной рыбы (другие водоемы, такие как реки и керамба) (тонна)

Год	Производство пресноводной рыбы (тонна)
2012	8,998.09
2013	8,371.39
2014	7,924.94
2015	8,114.09
2016	8,176.43
2017	8,160.23

За последние 20 лет в Сурабае производство пресноводной рыбы уменьшилось (особенно прудовой), это также относится и к производству морской рыбы. Производство рыбы в Сурабае в целом обеспечивает экономическую ценность города Сурабаи. На основе данных валового регионального внутреннего продукта (ВРП) города Сурабаи для категории/сектора сельского, лесного и рыбного хозяйства (Категория А), производство рыбы каждый год увеличивает ВРП, так что общее изменение ВРП в категории А с 2011-2018 гг. увеличилось на 140.437,4 миллиона рупий. Значение линейного тренда для ВРП категории А: $y = 21680x - 4E+07$, значение регрессии: $R^2 = 0.9513$ (рисунок4.21).

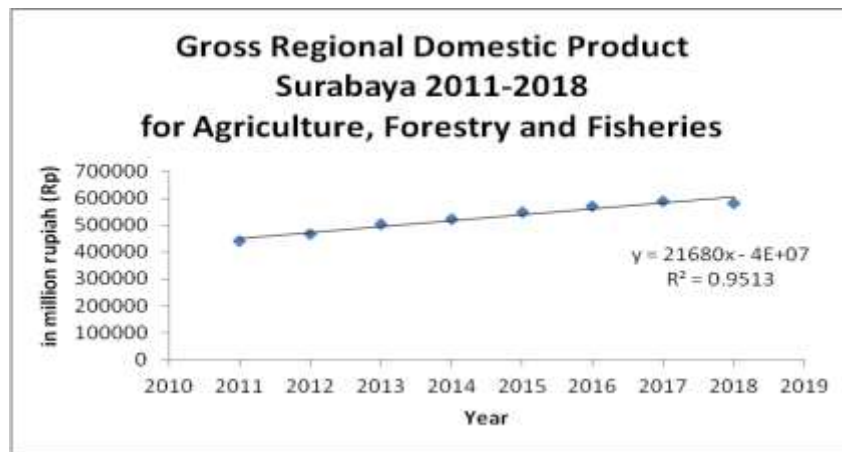


Рисунок 4.21 – График ВРП по категории А в 2011-2018 гг.

В 2020 году экономика города Сурабая сократилась на 4,85%. Последствия пандемии COVID-19 привели к замедлению глобального экономического роста. Сокращение темпов роста для категории А составило 4,90% [24]. Значение ВРП за 2019 год, которое составило 580,49 триллион рупий, сократившийся в 2020 году из-за последствий пандемии COVID-19.

Однако в 2021 году экономика Сурабаи начнет восстанавливаться со значением 590,228 триллион рупий. Площади прудов и производство рыбы, которые были нестабильными в период с 1994 по 2018 год, увеличивают и уменьшают значение GRDP в категории А. В период с 1994 по 2018 год это значение составляло миллиарды рупий, в то время как в 2019-2021 годах его стоимость составляла триллионы рупий. Это положительное увеличение в категории А. Затем это подтверждается значением GRDP категории А, который снизился в 2020 году, но снова увеличился на 0,02 трлн рупий в 2021 году. Это положительное увеличение в категории А. Затем это подтверждается значением ВРП категории А, которое снизилось в 2020 году, но снова увеличилось на 0,02 трлн рупий в 2021 году [76].

Большая часть производства рыбы в Сурабае приходится на морской лов, в то время как производство пресноводной рыбы уменьшается из-за непродуктивных рыбоводных прудов. Поэтому необходимо в районе Пармубаи на Восточном побережье Сурабаи изменить прудовое рыбоводство

на другие виды землепользования. Однако этому препятствуют правила территории, имеющей статус охраняемой или неохраняемой.

4.4.5 Классификация прибрежных мангровых лесов Сурабаи

Сурабая имеет мангровые лесные экосистемы в районах Памурбая (Восточное побережье Сурабаи) и Пантурбая (Северное побережье Сурабаи) с прогнозируемой площадью 916,743 га в Памурбае из общей прогнозируемой площади мангровых лесных экосистем в городе Сурабая 1108,823 га или около 82,68%. Исследования мангровых зарослей (анализ мангровой растительности) в Сурабае были начаты в 2013 году для поддержки деятельности по мониторингу качества морской воды в прибрежных и морских районах. В 2013 году было 15 точек отбора проб. В следующем году, с 2014 по 2017 год, было добавлено 2 точки отбора проб для обследования мангровых зарослей, так что до 2018 года их стало 17. Мониторинг качества мангровых зарослей путем анализа мангровой растительности осуществляется Экологической службой по надзору и контролю города Сурабая. Обследование мангровых зарослей как попытка уменьшить ущерб, наносимый мангровым зарослям, мотивировано развитием города Сурабая, площадь которого увеличивается с каждым годом, включая застройку мангровых зарослей. Увеличение масштабов деятельности по развитию города наносит ущерб, мангровым экосистемам. Результаты исследований могут быть полезны правительству Сурабая при разработке политики рационального природопользования в прибрежных районах, особенно в мангровых лесах, а также для специалистов-практиков по рациональному природопользованию и экологов [34, 59].

По словам Нур и др. [58] существует четыре типа мангровых зарослей. Первый – это открытые мангровые заросли, а именно мангровые заросли, находящиеся на обращенной к морю части, например *Avicennia marina*. Второй – средние мангровые заросли, которые находятся за мангровыми зарослями открытой зоны. В этой зоне преобладающими мангровыми

зарослями обычно являются *Rhizophora*. Третий тип – солоноватые мангровые заросли, а именно мангровые заросли, расположенные вдоль рек от солоноватой до пресной воды. Мангровые заросли, которые обычно встречаются в этом месте, – это *Nypa* или *Sonneratia*. Четвертый тип – мангровые заросли материка, а именно расположенные в зоне солоноватой воды или почти пресной за собственно мангрово-зеленым поясом. Обычные виды, встречающиеся в этой зоне, включают *Ficus microcarpus* (*F. retusa*), *Intsia bijuga*, *Nypa fruticans*, *Lumnitzera racemosa*, *Pandanus sp.* и *Xylocarpus moluccensis* [58].

Одним из способов упростить мониторинг мангровых зарослей является использование технологии дистанционного зондирования. В этом исследовании использовались спутниковые снимки Landsat 5, 7 и 8, спутниковые снимки Landsat 5 за 1994 г., Landsat 7 за 2003 г. и Landsat 8 за 2018 г. [74, 77, 78, 79].

Дистанционное зондирование можно использовать для мониторинга мангровых зарослей на основе двух важных характеристик: мангровые заросли имеют зеленую массу листьев (хлорофилл), и мангровые заросли растут в прибрежных районах [92]. Характерные оптические свойства хлорофилла указывают на то, что хлорофилл поглощает спектр красного света и сильно отражает в ближнем инфракрасном спектре [62]. Определение плотности растительности с помощью технологии дистанционного зондирования может быть выполнено посредством цифровой интерпретации изображений с использованием вегетационного индекса. Вегетационный индекс является одним из параметров, используемых для анализа состояния растительности путем измерения степени зелени (*greenness*) растительного покрова, составных свойств хлорофилла листьев, площади листьев, структуры и растительного покрова на территории [45].

Мангровые заросли делятся на 77 видов [29]. На основе обработки данных спутниковых снимков Landsat в 1994, 2003 и 2018 гг., в целом на побережье Сурабаи (Восточная Ява) произрастают три рода мангровых

зарослей: род мангровых зарослей *Avicennia*, род мангровых зарослей *Rhizophora* и род мангровых зарослей *Sonneratia*(таблица 4.22).

Таблица 4.22 -Список родовых и видовых названий мангровых зарослей, произрастающих в Сурабае

№	Род мангровых зарослей	Виды мангровых зарослей
1.	Avicennia	Avicennia alba
		Avicennia integra
		Avicennia marina
		Avicennia officinalis
		Avicennia rumphiana
		Avicennia bicolor
		Avicennia germinans
		Avicennia schaueriana
2.	Rhizophora	Rhizophora X annamalayana
		Rhizophora apiculata
		Rhizophora X lamarckii
		Rhizophora mucronata
		Rhizophora samoensis
		Rhizophora X selala
		Rhizophora spathacea
3.	Sonneratia	Sonneratia alba
		Sonneratia apetala
		Sonneratia caseolaris
		Sonneratia griffithi
		Sonneratia X gulngai
		Sonneratia X hainanensis
		Sonneratia lanceolata
		Sonneratia ovata
		Sonneratia X urama

Каждый род имеет разные характеристики или значения. Таким образом, в этом исследовании мы разделили значения диапазона NDVI на 3 группы, а именно: первая группа 0–0,32 для мангровых зарослей *Sonneratia*, вторая группа 0,32–0,42 для мангровых зарослей *Avicennia* и третья группа 0,42–1 для мангровых зарослей *Sonneratia*. Результаты классификации показывают, что в 1994 году мангровые заросли *Sonneratia* доминировали на 391,29 га по сравнению с мангровыми зарослями родов *Avicennia* и *Rhizophora*. Род мангровых зарослей *Avicennia* имеет наименьшее количество популяций по сравнению с двумя другими родами мангровых зарослей.

Общая площадь мангровых зарослей в Сурабае в 1994 г. составляла 743,84 га. В 2003 году общее количество мангровых зарослей увеличилось на 1253,29 га. Почти за 10 лет, прошедших с 1994 года, популяции трех родов мангровых зарослей почти удвоились. Род мангровых зарослей *Rhizophora* доминировал на площади 614,59 га в 2003 г., а также в 2018 г., что составляло 911,79 га. В 2018 году численность мангровых зарослей *Sonneratia* резко сократилась, оставив 82,26 га, а общее количество мангровых зарослей в Сурабае составило 1173,80 га. Общее изменение площадей мангровых зарослей в Сурабае происходило как в сторону увеличения, так и уменьшения: с 1994 по 2018 год количество мангровых зарослей в Сурабае увеличилось на 429,95 га [81].

Таблица 4.23 - Результаты классификации рода мангровых лесов в Сурабае

Результаты мангровых зарослей (га)					
№	Диапазон NDVI	Род мангровых зарослей	Год		
			1994	2003	2018
1	0-0,32	<i>Sonneratia</i> sp.	391,29	508,98	82,26
2	0,32-0,42	<i>Avicennia</i> sp.	14,90	129,72	179,75
3	0,42-1	<i>Rhizophora</i> sp.	337,66	614,59	911,79
Сумма			743,84	1253,29	1173,80

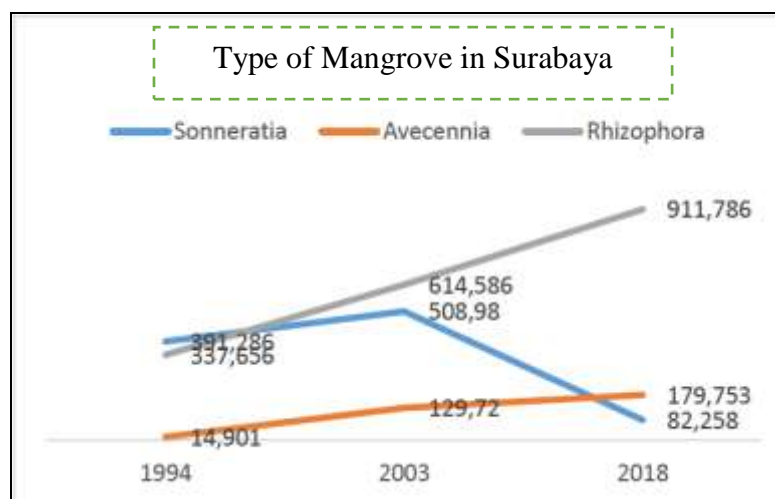


Рисунок 4.22 –Количество видов мангровых зарослей в Сурабае (1994, 2003 и 2018 гг)

На основе обработки данных видно, что с 1994, 2003 и 2018 годов в мангровых зарослях рода *Avicennia* и рода *Rhizophora* наблюдалась тенденция к увеличению. За последние 20 лет общая численность мангровых зарослей *Avicennia* увеличилась на 164,85 га, а мангровых зарослей *Avicennia* – на 574,13 га. При этом общая численность мангровых зарослей рода *Sonneratia* уменьшилась на 309,03 га. Тенденция данных мангровых зарослей *Sonneratia* имеет феномен роста и спада, результаты обработки данных показывают, что с 1994 по 2003 год она увеличивалась, но уменьшалась в 2018 году [81].

Карта распространения рода мангровых зарослей в Сурабае показывает, что в 1994 г. мангровые заросли были равномерно распределены в Восточной Сурабае и Северной Сурабае (рисунок 4.23). Условия произрастания мангровых зарослей в 2003 и 2018 годах были разными. Наиболее быстрый рост отмечался на побережье Восточной Сурабаи, в Восточной Яве, Регентство Баньюванги – единственный район, в котором мангровые заросли обозначены как заповедная зона. По этой причине с 2012 года правительство Сурабаи приступило к разработке стратегии превращения мангровых зарослей в заповедные зоны.

Правительство Сурабаи также начало уделять особое внимание превращению мангровых зарослей в зоны образовательного и экономического туризма в подрайонах Вонореджо и Гунунг Аньяр. Одна из причин феномена увеличения и уменьшения количества мангровых зарослей в Сурабае связана с изменением функции земли. Сурабая стала экономическим центром Индонезии, так что территория мангровых зарослей, которая должна быть охраняемой, превратилась в жилой район (предназначенный для жилья) или превратилась в зону пруда, и наоборот [74].

Необходимы строгие правила со стороны правительства Сурабаи в отношении надзора и восстановления мангровых лесов в будущем, это связано с управлением прибрежными территориями.

1994



рода мангровых зарослей
в 1994 году в Сурабае



Снимок Г. Состояние мангровых
зарослей у пруда в деревне
Кепутих

2003



ния рода мангровых зарослей
в 2003 г. в Сурабае



Снимок Д. Мангровый лес
в районе Вонореджо

2018



рода мангровых зарослей
в 2018 г. в Сурабае



туризма на реке Джагир в районе
ГунунгАньяр

Рисунок 4.23 – Карта распространения мангровых зарослей в Сурабае и снимки полевых наблюдений

До сих пор мероприятия по восстановлению мангровых лесов проводились с использованием одного вида мангровых растений, а именно из рода *Rhizophorasp.*, без учета состояния реабилитируемой экосистемы и предшествующего районирования мангровых растений[13]. Это может изменить сложившуюся в экосистеме систему естественного зонирования.

Это можно продемонстрировать, наблюдая за структурой мангровой растительности на реабилитированных территориях [97]. Мониторинг состояния реабилитационной экосистемы мангровых зарослей является одной из мер, необходимых для обеспечения успеха восстановления мангровых лесов, а также оценочным материалом для продолжения предпринятых усилий по восстановлению [93]. Успех проведенных восстановительных работ можно увидеть, сравнив реабилитированную площадь мангровых лесов и экосистему мангровых зарослей, существовавшую естественным образом, особенно в ее биологическом аспекте [85]. Северное и восточное побережье города Сурабаи являются местами наблюдения за качеством экосистемы мангровых зарослей. Если в данном месте наблюдается сокращение количества мангровых экосистем, необходимо пересмотреть управление ими.

4.4.6 Расчет биомассы и накопления углерода

При мониторинге мангровых зарослей, помимо типа и площади, важно также учитывать стоимость биомассы и накопления углерода. Биомасса – это общее количество живого органического вещества, выраженное в сухом весе в тоннах на единицу площади [69]. Согласно Анваретал. лесная биомасса представляет собой общую сухую массу всех живых частей растений либо для всего организма, либо для части тела, продукции или сообщества и выражается в сухой массе на единицу площади (тонн/га) [14].

Биомасса может быть разделена на две категории, а именно: надземная биомасса (abovegroundbiomass) и подземная биомасса (belowgroundbiomass). Расчет оценок лесной биомассы необходим для определения изменений в запасах углерода. Расчетная стоимость надземной биомассы очень важно для оценки запасов углерода и последствий обезлесения и накопления углерода в контексте глобального углеродного баланса [67]. Чем больше биомассы, тем меньше углекислого газа в атмосфере.

Углерод является одним из наиболее важных элементов в повседневной жизни и играет роль генератора парниковых газов (ПГ). В принципе, концепция, используемая при расчете углерода мангровых зарослей, представляет собой углеродный биогеохимический цикл, в котором используется способность растений в процессе фотосинтеза путем преобразования углерода, его улавливания и поглощения с образованием кислорода. Принцип метода измерения и расчета углерода в лесах заключается в расчете общего запаса углерода в лесах на основе содержания биомассы и органического вещества в пяти carbon pool (надземная биомасса, подземная биомасса, валежная древесина, подстилка и органическое вещество почвы) в соответствии с IPCC 2003[47].

Усилия по сохранению и восстановлению экосистем мангровых зарослей и морских водорослей полезны для поддержания экосистемных услуг по секвестрации углерода. Концепция смягчения воздействия парниковых газов и изменения климата может быть реализована за счет сокращения выбросов парниковых газов и поддержания экосистемных услуг для поглощения углерода. Существование потенциала мангровых лесов в Сурабае способствует минимизации возникновения парниковых газов или глобального изменения климата за счет поглощения углерода, выбрасываемого в воздух [32].

Мангровые леса относятся к экосистемам водно-болотных угодий, запасы углерода в которых достигают 800-1200 тонн на гектар. Выбросы в атмосферу в мангровых лесах меньше, чем в лесах на суше, это связано с тем, что при разложении опада водных растений углерод не выделяется в воздух [30]. Количество биомассы мангровых лесов играет важную роль в круговороте углерода, поскольку около 50% лесного углерода хранится в его растительности. Это имеет и другие последствия: если лесу будет нанесен ущерб, количество CO₂, которое может быть поглощено, также уменьшится [95].

Данные исследований показывают, что расчетная стоимость биомассы в Сурабае колеблется вверх и вниз. За 20 лет предполагаемое изменение

биомассы, производимой мангровыми зарослями в Сурабае, увеличилось на 100%. В 1994 г. расчетная стоимость биомассы составляла 42,897 кг/м², в 2003 г. она увеличилась до 96,045 кг/м², а в 2018 г. снова уменьшилась на 86 158 кг/м². Расчет расчетной стоимости накопления углерода составляет половину расчетной стоимости биомассы. Так расчетная стоимость запаса углерода в 1994 г. составила 21,449 кг/м², тогда как в 2003 г. она увеличилась до 48,023 кг/м², а в 2018 г. снова уменьшилась на 43,079 кг/м². Данные расчета расчетной стоимости биомассы в этом исследовании имеют значение корреляции с данными отчета экологической службы за 2018 г., равное 0,8903, в то время как расчетная стоимость накопления углерода составляет 0,8901 [81].

Мангровые леса играют важную роль в равновесии экосистемы в районе Сурабаи. По сути, функция мангровых зарослей заключается в защите суши от морских волн и уменьшении истирания или размывания суши морской водой. Кроме того, мангровые заросли действуют как эффективный поглотитель углерода из атмосферы с чистым объемом производства, производимым мангровыми лесами; биомасса (62,9-398,8 тонн/га) и выпадение мусора (5,8 – 25,8 тонн/га/год) [51].

Следовательно, инвентаризация биомассы в мангровых лесах в Сурабае крайне необходима для определения изменений в запасах углерода и способности растительности поглощать углерод, который является одним из наиболее важных экологических компонентов в смягчении последствий изменения климата. Помимо этого, данные о запасах биомассы и углерода в мангровых лесах Сурабаи важны для управления сохранением мангровых лесов.

Таблица 4.24 - Биомасса и запасы углерода в различных видах мангровых лесов, произрастающих в Сурабае

№	Диапазон NDVI	Род мангровых зарослей	Оценка биомассы (кг/м ²)			Оценка накопления углерода (кг/м ²)		
			1994	2003	2018	1994	2003	2018
1	0-0,32	Sonneratia sp.	10,239	37,32	33,41	5,12	18,66	16,70
2	0,32-0,42	Avicennia sp.	11,83	36,94	33,88	5,92	18,47	16,94
3	0,42-1	Rhizophora sp.	20,83	21,79	18,87	10,41	10,89	9,43
Сумма			42,90	96,04	86,16	21,45	48,02	43,08

Выводы:

1) Проведенные исследования показали, что динамика береговой линии в Сурабае за период 24 года обусловлена как природными факторами – размывом берегов, аккумуляцией, так и антропогенной деятельностью. По данным снимков Landsat (1994, 2003 и 2018 гг.) зоны размыва на побережье Сурабаи были выявлены в 11 подрайонах. Общая площадь размыва составила 229645,5 м². Зоны аккумуляции на побережье Сурабаи определены в 18 подрайонах. Общая площадь аккумулятивных форм (пляжей) составила 8426330 м². Антропогенные преобразования затронули 4 подрайона общей площадью 1762919 м².

2) Опасные береговые процессы в прибрежной зоне Сурабаи связаны с интенсивной аккумуляцией и определены в четырех прибрежных районах: Суколило, ДукухСутореджо, Калисари и Кепутих, где средняя скорость выдвигания береговой линии составляет 75,75 м/год, максимальная – 77,33 м/год (Калисари). Опасные явления размыва зафиксированы в прибрежном подрайоне Вонореджо. Средняя скорость размыва здесь составляет 3,4 м/год, а максимальное значение достигает 77 м/год.

3) Изменения береговой линии влияют на изменения прибрежного земельного покрова (ландшафтов) Сурабаи. Существует 6 классов земель: пруды, городские районы, растительность (сельхозугодия), мангровые заросли, водоемы и голая земля (пустоши). Все изменения за последние 24 года связаны с ростом населения Сурабаи, поэтому некоторые классы земель

изменили свои функции. Например, класс прудов стал классом городской территории. Кроме того, произошло изменение класса мангровых лесов на класс прудов и наоборот.

4) Для классификации рода мангровых зарослей на этом этапе используется *Machine Learning SmileRandomForest* в программном обеспечении *Google Earth Engine (GEE)*. Классификация рода мангровых зарослей основана на определенном значении *NormalizedDifferenceVegetation Index (NDVI)*, так что определены 3 класса рода мангровых зарослей: диапазон значений NDVI (0–0,32) соответствует роду мангровых зарослей *Sonneratiasp*, диапазон значений NDVI (0,32–0,42) – роду мангровых зарослей *Avicenniasp*, диапазон значений NDVI (0,42–1,00) – роду мангровых зарослей *Rhizophorasp.*, который произрастает преимущественно на побережье Сурабаи.

ГЛАВА 5. ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ СУРАБАЯ ПО СТЕПЕНИ ПРОЯВЛЕНИЯ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ (ПТП)

«Геоэкологическая оценка определяется как установление степени пригодности природно-антропогенных условий для проживания человека или проведения какого-либо вида хозяйственной деятельности» [2].

Геоэкологическая оценка прибрежной зоны Сурабая проводилась по таким показателям, как оценка антропогенного давления (по Дмитриев, Фруммин[1]), оценка антропогенной нагрузки на естественные ландшафты (по Кочурову [2]), оценка интенсивности проявления опасных береговых процессов (ОБП).

Геоэкологическая оценка прибрежной зоны Сурабая по степени проявления природно-техногенных процессов выполнялась с использованием балльных оценок и классификаций[8].

5.1 Оценка антропогенного давления на прибрежные районы Сурабая

Индонезия занимает 4-е место в мире по численности населения - 251,5 млн человек. Индонезия входит в число стран АСЕАН с коэффициентом рождаемости или общим коэффициентом фертильности (TFR) 2,6, что выше среднего показателя TFR в 2,4. При развитии того или иного района необходимо всегда обращать внимание на социальные условия жизни общества, уровень образования, плотность населения и различные другие факторы, связанные с социальными и экологическими аспектами. Основными показателями, по которым можно судить о численности населения, являются плотность населения и темпы его роста. Сурабая характеризуется высокими темпами роста населения. В результате быстрого роста населения возникает дисбаланс между населением и природой, а также доступными объектами жизнедеятельности. В целом, слишком плотное

население оказывает большое давление на окружающую среду в соответствии с возникновением проблем расширения жилого фонда, увеличением потребностей в работе, образовании, питании, медицинских услугах и др.

Движущим фактором антропогенного давления (К) на окружающую среду является человек. Антропогенное давление представляет собой интегральную величину энергии, используемой на единицу площади территории. Для оценки антропогенного давления на исследуемой территории вводится коэффициент антропогенного давления (К). Рассчитывается он по формуле:

$$\lg K = -0,97 + 0,9 \lg ПН, \text{ где}$$

ПН - плотность населения чел./км² [1].

Величина коэффициента антропогенного давления служит простым и удобным интегральным показателем, связанным с количеством сброшенных загрязненных сточных вод и выбросом металлов в географическую оболочку в процессе техногенеза [1]. В этой связи включение коэффициента антропогенного давления как один из факторов геоэкологической оценки является ключевым.

В таблице 5.1. Представлены результаты оценки прибрежной зоны Сурабая по показателю коэффициент антропогенного давления (К). Коэффициент определялся на уровне подрайонов. Ранжирование данного показателя представлено в таблице 5.2.

Таблица 5.1 – Показатели антропогенного давления (К) побережья Сурабая

Большой район	Район	Подрайон	Площадь (км ²)	Население	Плотность	Коэффициент	Ранг
Западная Сурабая	Беново (Беново)	Ромо Калисари (RomoKalisari)	7,58	2714	358,04	1,32	Низкий
		Тамбак Осовиланган (TambakOswilangun)	3,61	3902	1080,88	1,76	Низкий
	Асемрово (Асемрово)	Тамбак Лангон (Tambak Langon)	6,46	7267	1124,92	1,77	Низкий
		Грегес (Greges)	6,46	7599	1176,31	1,79	Низкий
		Калианак (Kalianak)	4,07	8322	2044,71	2,00	Низкий
Северная Сурабая	Крембанган (Крембанган)	МороКрембанган (MoroKrembangan)	3,17	49311	15555,52	2,80	Высокий
		Западная Перак (Perak Barat)	1,607	16685	10382,70	2,64	Высокий
	ПабеанЧантикан (PabeanCantikan)	Северная Перак (Perak Utara)	1,79	29604	16538,54	2,82	Высокий
	Семампир (Семампир)	Уджунг (Ujung)	1,62	37268	23004,93	2,95	Высокий
	Кенджеран (Кенджеран)	Булак бантенг (Bulak banteng)	2,67	36517	13676,77	2,75	Высокий
		Тамбак Веди (TambakWedi)	0,98	17915	18280,61	2,86	Высокий
		Кедунг Човек (Kedung Cowek)	1,13	6415	5676,99	2,40	Средний
		Кенджеран (Kenjeran)	0,93	7125	7661,29	2,52	Средний
		Суколило (Sukolilo)	3,13	11095	3544,72	2,22	Средний
	Восточная Сурабая	Мулиореджо (Мульореджо)	Дух Сутореджо (DukuhSutorejo)	2,14	16910	7901,86	2,53
Калисари (Kalisari)			2,13	11017	5172,30	2,37	Средний
Суколило (Суколило)		Кепutih (Keputih)	14,4	18203	1264,09	1,82	Низкий
Рунькут (Рунькут)		Вонореджо (Wonorejo)	6,48	18254	2816,97	2,13	Средний
		Медокан Аю (MedokanAyu)	7,23	27980	3869,98	2,25	Средний
ГунунгАньяр (ГунунгАньяр)		Гунунг Аньяр Тамбак (Gunung Anyar Tambak)	4,41	10408	2360,09	2,06	Средний

На основе обработки данных, показатель степени антропогенного давления на побережье Сурабая разделен на 3 класса (ранга) (таблица 5.2) [8].

Таблица 5.2 – Шкала ранжирования степени антропогенного давления

Диапазон (K)	Степень	Ранг (ровняется присвоенному баллу)
1,328547 - 2,009570	Низкая	1
2,009571 - 2,537957	Средняя	2
2,537958 - 2,955639	Высокая	3

По результатам ранжирования прибрежные районы Сурабая по показателю антропогенного давления разделены на три зоны (рисунок 5.1).

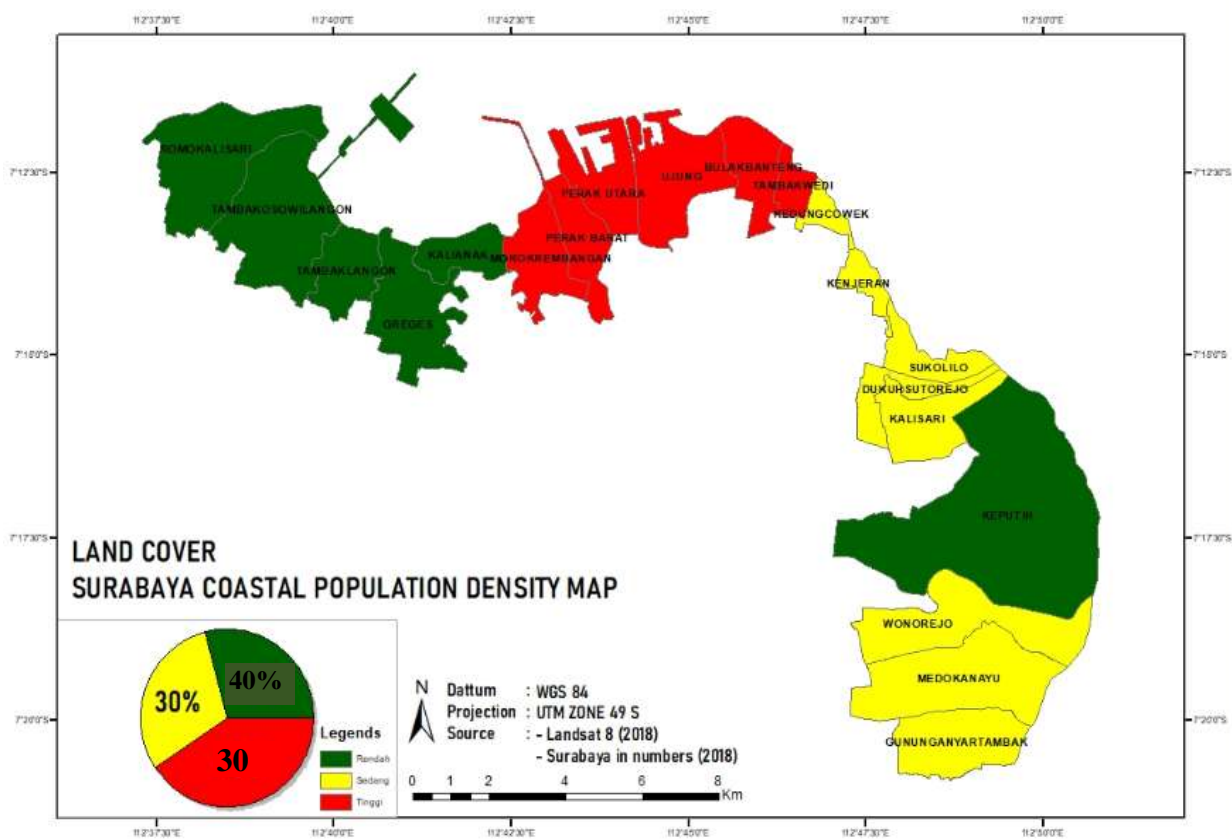


Рисунок 5.1 – Ранжирование прибрежной зоны Сурабая по степени антропогенного давления

Зона 1 характеризуется самыми высокими показателями антропогенного давления. Сюда входит большая часть Северной Сурабайи-6 подрайонов - Моро Крембанган, Западный Перак, Северный Перак, Уджунг, Булак Бантенг, Тамбак Веди. Здесь расположен крупный промышленный центр города, жилые районы с самой плотной застройкой, промышленные зоны, складские помещения, терминалы, военные объекты. На долю этой зоны приходится 30% прибрежных территорий.

Зона 2 характеризуется средним уровнем антропогенного давления – и состоит из 5 подрайонов Восточной Сурабайи (Дукух Сутореджо, Калисари, Вонореджо, Медокан Аю, Гунунг Аньяр Тамбак) и трех подрайона Северной Сурабайи (Кедунк Човек, Кенджеран, Суколило). В пределах данной зоны проживает население, занятое в основном в сельском хозяйстве. Площади городской застройки не превышает 40%. Большая часть побережья занята рыбоводными прудами, рисовыми полями. На долю этого кластера приходится 30% прибрежных территорий.

Зона 3 с низкими показателями антропогенного давления. Характерной особенностью территории является низкая плотность населения и ее численность. Данную зону входит вся Западная Сурабайя включая 5 подрайонов. Подрайон Ромо Калисари является подрайоном с самым низким значением коэффициента антропогенного давления на побережье Сурабайя. Площадь городской застройки не превышает здесь 57%. Остальная территория занята прудами (34%), растительностью и пустошью. К кластеру 3 с низким антропогенным давлением относится и район Суколило, подрайон Кепутих который находится в Восточной Сурабайе. Подрайон Кепутих это самый большой по площади подрайон прибрежной зоны. Здесь на месте бывшей городской свалки посажен бамбуковый лес и разбит большой городской парк - Кепутих Бамбуо Гарден площадью около 20 га. Низкое антропогенное давление характерно для 40% площади прибрежных территорий.

5.2 Классификация земель прибрежной зоны Сурабая по степени антропогенной нагрузки

Прибрежная среда – это связующее звено между сушей и морем. На побережьях располагаются различные объекты инфраструктура и приморские экосистемы, а также проживает 40 % населения планеты. Территории, граничащие с сушей и морем, могут быть погружены в воду под воздействием волн, речных устьев и приливов. Побережья будут продолжать испытывать изменения из-за волнового воздействия и течений, которые могут перемещать осадочные породы извне или за пределы прибрежной зоны [3]. Деятельность человека может существенно влиять на прибрежные экосистемы. Одним из способов мониторинга антропогенных преобразований в прибрежной зоне является мониторинг земель (почвенно-растительного покрова).

Почвенно-растительный покров – это биофизический покров на видимой поверхности Земли, который является результатом человеческого деятельности и ее регулирования для поддержания почвенно-растительного покрова в естественном состоянии [25]. Мониторинг изменений в типах почвенно-растительного покрова может быть использован для понимания воздействия природных и антропогенных явлений на территорию, особенно в прибрежных районах.

Согласно классификации почвенно-растительного покрова в прибрежной зоне Сурабая в данном исследовании сгруппирована в шесть типов, включая голую землю (пустыри), мангровые заросли, пруды, городские территории, растительность и водоемы. Б. И. Кочуров, опираясь на разработанную концепцию эколого-хозяйственного баланса территории, предлагает свою формулу исчисления суммарной антропогенной нагрузки, где учитывается площадь вида использования земель, балльная оценка антропогенной нагрузки по определённому виду с учётом корректировки по дополнительным факторам (таблица 5.3).

Таблица 5.3 – Классификация земель по степени антропогенной нагрузки
(Кочуров [2])

Степень АН	Оценка, балл	Группа земель
Высокая	3	Земли инфраструктуры (порты, причалы, жилые застройки и пр.)
Средняя	2	Сельскохозяйственные земли, рыбоводные пруды и др.
Низкая	1	Водные объекты, Земли естественных урочищ, ООПТ (мангровые леса)

Анализ почвенно-растительного покрова в прибрежной Сурабайе по снимкам Landsat показал, что в 15 подрайонах преобладают городские территории (таблица 5.4). На основе данных спутниковых снимков Landsat 8 и снимков Sentinel в 2018 году, первый класс – это класс городских территорий в 15 подрайонах (75%). Вторым по величине доминирующим классом является класс прудов в 4 подрайонах (20%), а третьим по величине доминирующим классом является класс мангровых лесов в одном подрайоне (5%). Это свидетельствует о том, что прибрежная территория Сурабайи находится в категории с высокой антропогенной нагрузкой, поскольку на большей ее части преобладают городские районы, где естественные мангровые леса или другая растительность почти полностью сведена. В результате этого в районах от морской активности наблюдается размыв берегов [28].

Таблица 5.4 – Доминирование типов земельного покрова в Сурабае

№	Район	Подрайоны побережья	Доминирование земельного покрова с Landsat 8 и Sentinel (2018)					
			Городские районы	Растительность	Мангровые леса	Пруды	Голая земля (пустыри)	Водные объекты
1	Запад	Ромо Калисари (Romo Kalisari)	57%	6%	2%	34%	1%	0%
2		Тамбак Осовиланган (Tambak Osowilangun)	50%	9%	2%	38%	0%	0%
3		Тамбак Лангон (Tambak Langon)	72%	8%	2%	13%	4%	0%
4		Грегес (Greges)	91%	2%	0%	5%	1%	0%
5		Калианак (Kalianak)	75%	6%	1%	17%	0%	1%
6	Север	МороКрембанган (Moro Krembangan)	65%	8%	1%	9%	1%	16%
7		Западная Перак (Perak Barat)	92%	3%	2%	3%	0%	1%
8		Северная Перак (Perak Utara)	97%	1%	0%	2%	0%	0%
9		Уджунг (Ujung)	67%	11%	2%	18%	2%	1%
10		Булак бантенг (Bulak banteng)	56%	7%	2%	33%	0%	1%
11		Тамбак Веди (Tambak Wedi)	83%	7%	3%	5%	1%	0%
12		Кедунг Човек (Kedung Cowek)	50%	24%	0%	23%	3%	0%
13		Кенджеран (Kenjeran)	73%	18%	0%	8%	0%	0%

14		Суколило (Sukolilo)	27%	20%	49%	3%	0%	0%
15	Восток	Дукух Сутореджо (DukuhSutorejo)	65%	12%	13%	9%	0%	0%
16		Калисари (Kalisari)	58%	10%	11%	17%	4%	0%
17		Кепутих (Keputih)	17%	9%	11%	63%	0%	0%
18		Вонореджо (Wonorejo)	31%	16%	3%	49%	0%	0%
19		Медокан Аю (Medokan Ayu)	40%	8%	5%	48%	0%	0%
20		Гунунг Аньяр Тамбак (Gunung Anyar Tambak)	38%	8%	7%	48%	0%	0%

Таблица 5.5 – Земли по степени антропогенной нагрузки в Сурабае[84]

№	Район	Подрайоны побережья	Земли по степени антропогенной нагрузки	Классы землепользования
1	Запад	Ромо Калисари (Romo Kalisari)	3 (высокая)	Жилые районы, промышленная зона и складские помещения
2		Тамбак Осовиланган (TambakOsowilangun)	3 (высокая)	Порты, жилые районы, промышленные зоны и складские помещения
3		Тамбак Лангон (Tambak Langon)	3 (высокая)	Жилые районы, промышленная зона и складские помещения
4		Грегес (Greges)	3 (высокая)	Жилые районы, промышленная зона и складские помещения
5		Калианак (Kalianak)	3 (высокая)	Жилые районы, промышленная зона и складские помещения
6	Север	МороКрембанган (Moro Krembangan)	3 (высокая)	Жилые районы, промышленная зона и складские помещения
7		Западная Перак	3 (высокая)	Военный район, порт,

		(Perak Barat)		жилые районы, промышленная зона и складские помещения
8		Северная Перак (Perak Utara)	3 (высокая)	Военный район, порт, жилые районы, промышленная зона и складские помещения
9		Уджунг (Ujung)	3 (высокая)	Военный район, порт, жилые районы, промышленная зона и складские помещения
10		Булак бантенг (Bulak banteng)	3 (высокая)	Жилые районы, промышленная зона и складские помещения
11		Тамбак Веди (Tambak Wedi)	3 (высокая)	Жилые районы, промышленная зона и складские помещения
12		Кедунг Човек (Kedung Cowek)	3 (высокая)	Жилые районы, промышленная зона и складские помещения
13		Кенджеран (Кенджеран)	3 (высокая)	Жилые районы, промышленная зона и складские помещения
14		Суколило (Sukolilo)	1 (низкая)	Мангровые леса
15	Восток	ДукухСугореджо (DukuhSutorejo)	3 (высокая)	жилые районы
16		Калисари (Kalisari)	3 (высокая)	жилые районы
17		Кепутих (Keputih)	2 (средняя)	Рыбные пруды, рисовые поля (растительность)
18		Вонореджо (Wonorejo)	2 (средняя)	Рыбные пруды, рисовые поля (растительность)
19		МедоканАю (Medokan Ayu)	2 (средняя)	Пруды с рыбой, рисовые поля (растительность)
20		Гунунг Аньяр Тамбак (Gunung Anyar Tambak)	2 (средняя)	Пруды с рыбой, рисовые поля (растительность)

По результатам ранжирования большая часть прибрежных районов (75%) относится к территории с высокой антропогенной нагрузкой. Средняя антропогенная нагрузка (20% прибрежных территорий) характерна для подрайонов Кепутих, Вонореджо, Медокан Аю, ГунунгАньярТамбак, где развита

произошла смена использования фабричных земель на мангровую растительность в округах Моро-Крембанган и Перак-Барат [90].

Переустройство земель в прибрежных районах приводит к изменениям в почвенно-растительном покрове. Увеличение площади земель за счет аккумуляции приводит к увеличению площади городских территорий и способствует росту численности и плотности населения.

Одним из источников средств к существованию жителей прибрежных районов, помимо лова рыбы в море, является рыбоводство или аквакультура. Правительство города Сурабайя также оказывает помощь населению в создании рыбоводческих прудов как в мангровых зонах, так и за их пределами [99]. Те создаются антропогенные прудовые ландшафты. Антропогенные явления в Сурабайе преобладают и в связи со строительством и расширением порта и терминала ТелукЛамонг в подрайоне ТамбакОсовилангон, для разгрузки погрузочно-разгрузочных потоков в порту ТанджунгПерак [100].

5.3 Ранжирование прибрежной зоны по интенсивность проявления опасных береговых процессов (ОБП)

На основе данных спутниковых снимков Landsat 8 за 1994 и 2018 годы было установлено, что в прибрежной зоне Сурабайи произошли изменения в динамике береговой линии вследствие аккумуляции, размыва берегов и антропогенной деятельности.

С 1980 года мангровые заросли в Памурбайе были уничтожены, чтобы освободить место для прудов [46]. В результате этого площади мангровых зарослей значительно сократились, что привело к размыву берегов. В 2014 г. вышло постановление № 12 правительства Сурабайя, направленное на сохранение и восстановление мангровых лесов за счет сокращения площади прудов. В результате

роста города в нескольких прибрежных районах возникла необходимость в дополнительных посадках мангровых лесов для защиты суши от моря.

За 24 года размыв берегов наблюдался в нескольких прибрежных районах Сурабаи, таких как городской район Вонореджо, район Рунгут, площадью 141637,1 м². В то время как аккумуляция произошла почти во всех прибрежных районах Сурабайи. Аккумуляция в подрайоне Суколило была самой большой, ее площадь составила 4401201,3 м². Большая часть антропогенной деятельности была связана со строительством порта Телук Ламонг в 2013 году площадью 916068,3 м² [73].

Таблица 5.6 – Диапазон интенсивность проявления ОБП

Интенсивность проявления ОБП баллы	Интервал размыв, м/г
1 (низкая)	0,012228 - 0,338830
2 (средняя)	0,338831 - 1,087022
3 (высокая)	1,087023 - 4,441386

Результаты исследований показали, что 16 подрайонов (75 %) имели низкий класс интенсивности проявления с диапазоном 0,012228 - 0,338830. В то время как 3 подрайона (15%) имели средний класс интенсивности проявления с диапазоном 0,338831 - 1,087022. Подрайон Кепутих (5 %) имел высокий класс интенсивности проявлений с диапазоном 1,087023 - 4,441386 (рисунок 5.3 таблицы 5.6, 5.7).

Таблица 5.7 – Интенсивность проявления ОБП

№	Район	Подрайоны побережья	Площадь проявления (км2)	Интенсивность проявления ОБП в баллах
1	Запад	Ромо Калисари (Romo Kalisari)	7,84	1 (низкая)
2		Тамбак Осовиланган (Tambak Osowilangun)	9,43	2 (средняя)
3		Тамбак Лангон (Tambak Langon)	3,11	1 (низкая)
4		Грегес (Greges)	5,81	1 (низкая)
5		Калианак (Kalianak)	2,38	1 (низкая)
6	Север	МороКрембанган (Moro Krembangan)	3,57	1 (низкая)
7		Западная Перак (Perak Barat)	3,24	1 (низкая)
8		Северная Перак (Perak Utara)	3,60	1 (низкая)
9		Уджунг (Ujung)	5,71	1 (низкая)
10		Булак бантенг (Bulak banteng)	3,03	1 (низкая)
11		Тамбак Веди (Tambak Wedi)	1,27	1 (низкая)
12		Кедунг Човек (Kedung Cowek)	0,99	1 (низкая)
13		Кенджеран (Кенджеран)	1,22	1 (низкая)
14		Суколило (Sukolilo)	2,22	2 (средняя)
15		Восток	ДукухСутореджо (DukuhSutorejo)	2,17
16	Калисари (Kalisari)		3,90	1 (низкая)
17	Кепутих (Keputih)		22,07	3 (высокая)
18	Вонореджо (Wonorejo)		7,03	1 (низкая)
19	МедоканАю (Medokan Ayu)		8,46	1 (низкая)
20	Гунунг Аньяр Тамбак (Gunung Anyar Tambak)		4,87	1 (низкая)

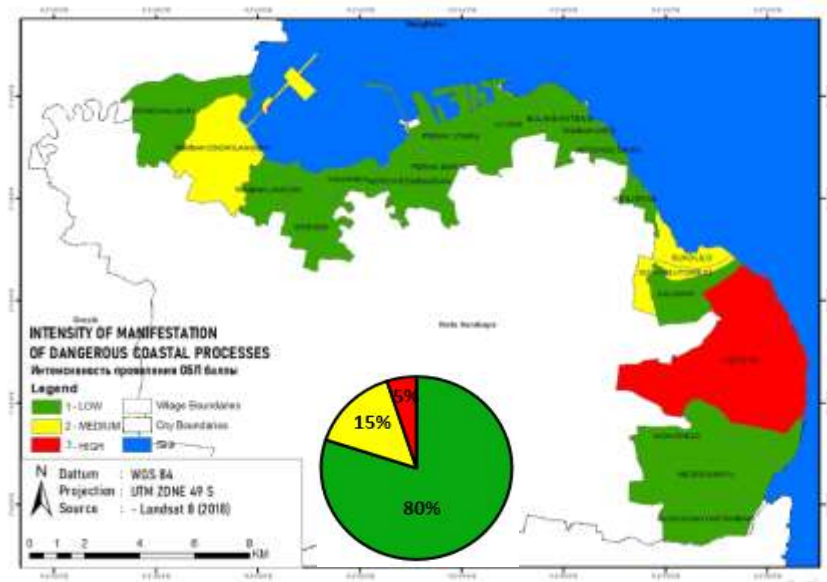


Рисунок 5.3 – Интенсивность проявления ОБП в прибрежной зоне Сурабая

5.4 Зоны прибрежной зоны Сурабая по степени проявления природно-техногенных процессов

Антропогенные явления, происходящие в прибрежных районах, могут оказывать различное влияние на окружающую экосистему, что связано с развитием промышленных зон, транспорта и других общественных объектов. В результате эти объекты способны загрязнять окружающую среду промышленными и бытовыми отходами, что может повлиять на морские экосистемы и здоровье людей. Антропогенная деятельность может повысить риск стихийных бедствий, таких как наводнения, оползни и приливные волны, которые могут угрожать прибрежным экосистемам.

Интегральная геоэкологическая оценка прибрежной зоны Сурабая проводилась по трем показателям: 1) антропогенное давление, зависящее от плотности населения; 2) антропогенная нагрузки на земли прибрежных территорий по степени их преобразования под влиянием хозяйственной деятельности;

3) интенсивность проявления опасных береговых процессов (ОБП). Затем три переменные были сгруппированы в три класса (ранга) следующим образом (таблица 5.8).

Таблица 5.8 – Диапазон ранжирования прибрежной зоны по степени проявления природно-техногенных процессов Сурабая

Диапазон, баллы	Степень проявления	Рейтинг
0-5	Низкий	1
5,00001-6,00000	Средний	2
6,00001-7,00000	Высокий	3

Результаты показали, что 7 подрайонов (35%) площади прибрежных территорий имели высокий уровень с диапазоном 6.00001-7.000005 подрайонов (25 % территории) относятся к среднему классу с диапазоном 5.00001-6.00000 и 8 подрайонов – 40% имеют низкий уровень проявления природно-техногенных процессов с диапазоном 0- 5 (таблица 5.9, 5.10, рисунок 5.4).

Таблица 5.9 – Геоэкологическая оценка прибрежной зоны Сурабая по степени проявления природно-техногенных процессов (ПТП)

№	район	Подрайоны побережья	Интегральная, баллы	Интегральная геоэкологическая оценка по степени проявления ПТП
1	Запад	Ромо Калисари (Romo Kalisari)	0-5	1 (низкая)
2		Тамбак Осовиланган (Tambak Osowilangun)	5-6	2 (средняя)
3		Тамбак Лангон (Tambak Langon)	0-5	1 (низкая)
4		Грегес (Greges)	0-5	1 (низкая)
5		Калианак (Kalianak)	0-5	1 (низкая)
6	Север	Моро Крембанган	6-7	3 (высокая)

№	район	Подрайоны побережья	Интегральная , баллы	Интегральная геоэкологическая оценка по степени проявления ПТП
		(Moro Krembangan)		
7		Западная Перак (Perak Barat)	6-7	3 (высокая)
8		Северная Перак (Perak Utara)	6-7	3 (высокая)
9		Уджунг (Ujung)	6-7	3 (высокая)
10		Булак бантенг (Bulak banteng)	6-7	3 (высокая)
11		Тамбак Веди (Tambak Wedi)	6-7	3 (высокая)
12		Кедунг Човек (Kedung Cowek)	5-6	2 (средняя)
13		Кенджеран (Кенджеран)	5-6	2 (средняя)
14		Суколило (Sukolilo)	0-5	1 (низкая)
15	Восток	ДукухСугореджо (DukuhSutorejo)	6-7	3 (высокая)
16		Калисари (Kalisari)	5-6	2 (средняя)
17		Кепутих (Keputih)	5-6	2 (средняя)
18		Вонореджо (Wonorejo)	0-5	1 (низкая)
19		МедоканАю (Medokan Ayu)	0-5	1 (низкая)
20		Гунунг Аньяр Тамбак (Gunung Anyar Tambak)	0-5	1 (низкая)

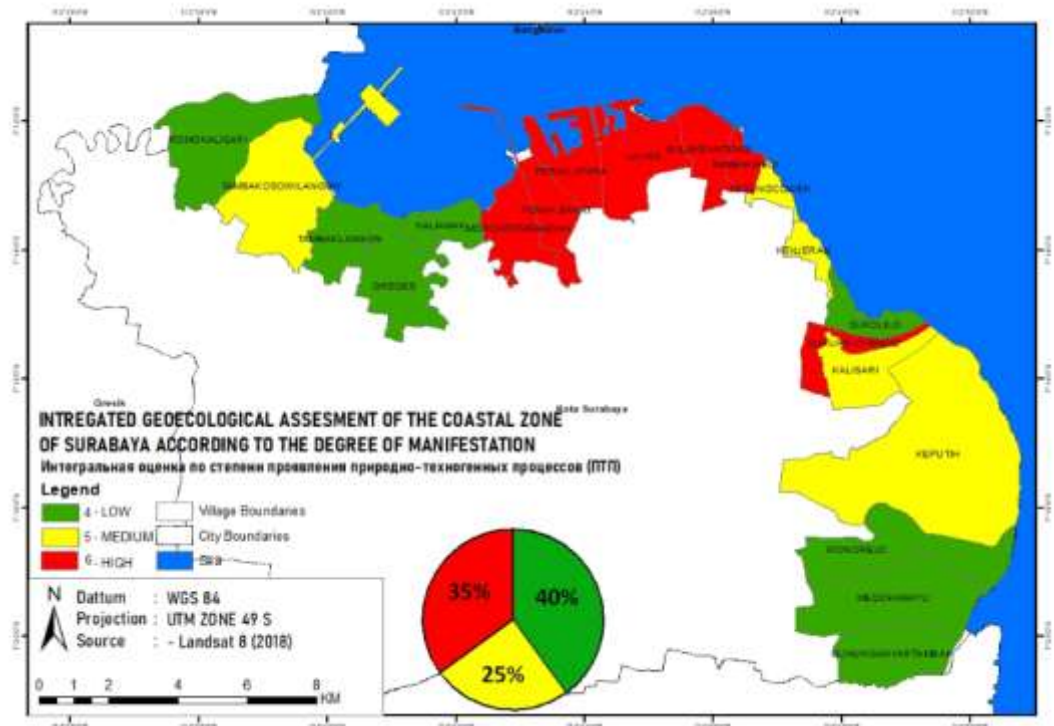


Рисунок 5.4 – Геоэкологическая оценка прибрежной зоны Сурабая[8]

Таблица 5.10 – Процентное соотношение параметров геоэкологической оценки прибрежной зоны в прибрежной зоне Сурабая [8]

Факторы	Оценка антропогенного давления на прибрежные районы Сурабая	Классификация земель прибрежной зоны Сурабая по степени антропогенной нагрузки	Интенсивность проявления ОБП баллы	Интегральная геоэкологическая оценка прибрежной зоны Сурабая по степени проявления
процентов				

5.5 Рекомендации по минимизации проявления природно-техногенных процессов

Природные и техногенные процессы значительно влияют на активность развитие города. Динамичные прибрежные районы вносят существенный вклад в планирование существующих пространственных схем в городе Сурабая границы и системы которых определяются на основе административных аспектов (рисунок 5.5, таблица 5.11) [65]. Зона планирования RTRW города Сурабая включает в себя землю, море, воздух и земное пространство на всей административной территории города Сурабая, которая состоит из районов и подрайонов.

Поэтому необходимо учитывать динамику ПТПв прибрежных районов на существующие пространственные схемы, чтобы определить соответствующие шаги, которые необходимо предпринять в дальнейшем для оптимизации хозяйственной деятельности в береговой зоне.

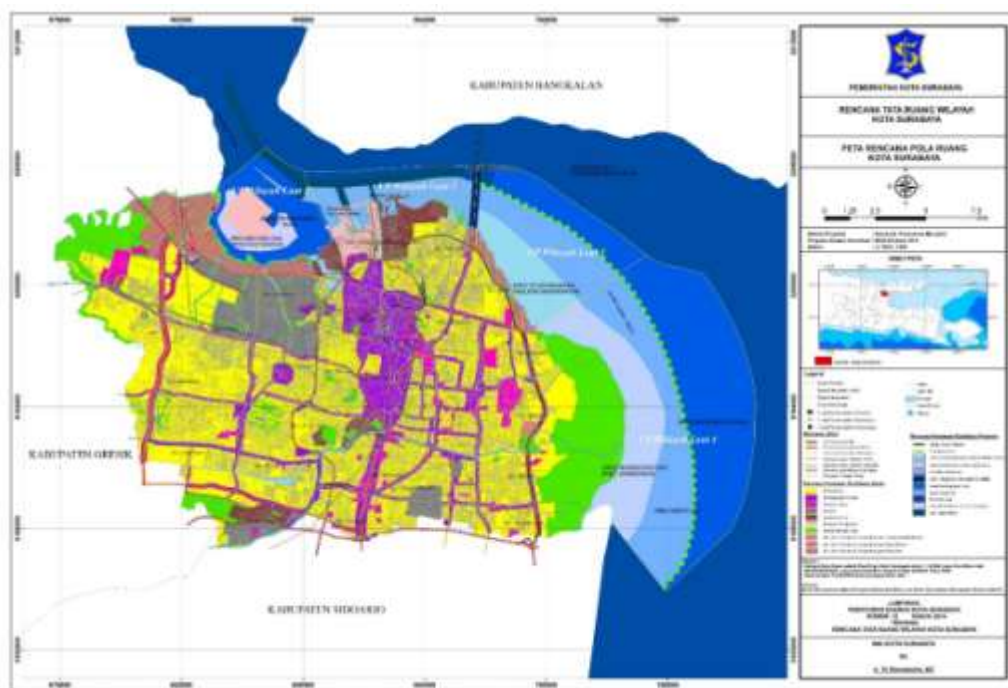


Рисунок 5.5 – Карта плана пространственной структуры города Сурабая на 2009-2029 гг.(Источник: Правительство Сурабайи [65])

Таблица 5.11 – Различия в землепользовании, результаты обработки почвенно-растительного покрова для планирования пространственных схем в Сурабае

Почвенно-растительный покров (2018)	Площадь, км ²	Оценка распределения пространственных схем города Сурабая (ожидания правительства Сурабая)	Площадь, км ²
Мангровая роща	8,63 км ²	Городской район	3,6 км ²
Пруд	39,09 км ²	Мангровая роща	14,07 км ²
Городской район	31,48 км ²	Мангровая роща	0,27 км ²

Восточное побережье Сурабая (Памурбая), расположенное в районах Мульореджо, Суколило, Рунгут и ГунунгАньяр, отнесено к охраняемым территориям в соответствии с Пространственным и региональным планом города Сурабая № 12 от 2014 года. С 2000 по 2015 год произошло увеличение площади охраняемых мангровых зарослей в районе Памурбая[60].

Зона с высокой степенью проявления природных и техногенных процессов

Согласно геоэкологической оценки в зону с высокой степенью проявления природно-техногенных процессов входит 7 подрайонов (35% площади побережья). На Севере это подрайоны Моро Крембанган, Западная Перак, Северная Перак, Уджунг, Булак Бантенг, Тамбак Веди и в Восточной Сурабае подрайон Дукух Сутореджо. Высокая степень проявления ПАП связана с высокой плотностью населения (антропогенного давления) и преобладанием городской застройки территории районов на площади от 56 % до 97%, а так же высокой из-за этого антропогенной нагрузкой. Тогда, как интенсивность проявления ОБП преобладает на уровне - низкая.

Зона со средней степенью проявления природных и техногенных процессов

Средний уровень проявления природно-техногенных процессов установлен для 5 подрайонов площадью 13,8 км² (25% площади прибрежной зоны), а именно в подрайонах Тамбак Осовилангон, Калисари, Кепутих, Кенджеран и Кедунг Ковек.

Средняя степень обусловлена тем что здесь менее плотная городская застройка и в землепользовании преобладает портовое хозяйство.

Данные спутниковой съемки Landsat 8 показывают, что площадь подрайона Тамбак Осовилангон увеличилась за счет того, что в 2013 году в Телук Ламонге был построен новый порт, площадь которого растет с каждым годом. Кроме того, подрайон Тамбак Осовилангон - это промышленная и складская зона, например, зона погрузки и разгрузки контейнеров (рисунок. 5.6). А в подрайоне Дукух Сутореджо и Суколило - жилой район и находится там, где когда-то были мангровые леса.



(a)



(b)

Рисунок 5.6 – Главное здание порта Телук Ламонг (a); Деятельность в порту Телук Ламонг (b)

На основе данных спутниковых снимков Landsat 8 и полевых наблюдений в подрайоне Кепутих произошли масштабные изменения почвенно-растительного покрова прибрежных территорий (изменения функций земли). Мангровые леса и пруды здесь превратились в жилые районы. Это связано с необходимостью новых поселений из-за миграционного притока. В 2018 году в подрайоне Кепутих (особенно в прибрежной зоне Восточной Сурабайи) появились небольшие жилые районы, а именно: Dian Regency 1 apartment, Dian Regency Phase 1 Housing, City

Home Housing, Hamlet housing, Sukolilo Park Regency housing и так далее. Но в 2021 году произошла смена функции земли - от прудов до новых жилых районов (Dian Regency Phase 2 и Royal Green Bay). Жилье под управлением Pakuwon Group, которое изначально было только Pakuwon (рисунки 5.7, 5.8). Эта зона активно развивается и возможен переход на более высокий уровень проявления ПАП [83].



Рисунок 5.7 – Пруды в районе Кепутих (жилой район Dian Regency Phase 2) в 2020 году (a); То же самое место было изменено на новое поселение в 2023 году (b)

Местные жители начали осознавать важность сохранения территорий путем пересадки мангровых зарослей, кроме того, в прибрежных районах Сурабаи существует сообщество прудовых фермеров и рыбаков, например, в подрайоне Кепутих есть сообщество Mentari Cahaya Purnama. Сафитри и др. [81] отмечают, что в 2012 году город Сурабая объявил мангровую зону - охраняемой территорией. Кроме того, городские власти Сурабаи начали уделять особое внимание управлению мангровыми лесами в качестве образовательных и туристических зон в округах Вонореджо и Гунунг Аньяр. Согласно статье 7В Закона № 6 от 2023 года, при планировании управления прибрежными районами и малыми островами учитывается баланс несущей способности экосистемы, использование различных видов прибрежных ресурсов и малых островов, а также обязательство распределения пространства и доступа сообщества к использованию водного

пространства, прибрежных ресурсов и малых островов, имеющих социальные и экономические функции [36].

Зона с низкой степенью проявления природных и техногенных процессов

Значение геоэкологической оценки с низким классом в 8 подрайонах площадью 66 км² (40%), а именно в подрайонах Калянак, Грегес, Тамбак Лангон, РомоКалисари, Гунунг Аняр Тамбак, Медокан Айю, Вонореджо, Кенджеран, Морокрембанган, Кедунг Ковек, Перак Барат, Тамбак Веди и подрайон Перак Барат, Суколило. Эти подрайоны расположены в основном в западной Сурабае. Низкая степень проявления ПАП связана с низкой плотностью населения, преобладанием в землепользовании земель сельхозназначения и рыбоводных прудов, и аккумуляции над размывом берегов.

Данные спутниковых снимков Landsat 8 показывают, что в некоторых округах этой зоны находятся военные районы и порты (порт Танджунг Перак), а именно подрайон Перак Барат, подрайон Перак Утара и подрайон Уджунг. В то время как подрайон Гунунг Аняр Тамбак и подрайон Вонореджо представляют собой прудовую зону, граничащую с мангровым лесом (мангровый лес Гунунг Аняр и мангровый лес Вонореджо).



(a)



(b)

Рисунок 5.8. а) Монумент Джалесвева Джаямахе; (b) Сухой пруд в прибрежной части Сурабайи

Анализ состояния геоэологических зон позволил предложить рекомендации для уменьшения степени проявления негативных ПТП, путем изменение функций землепользования, в прибрежных районах Сурабая т.к. все выделенные геоэкологические зоны вообщем-то подвержены процессам дальнейшей урбанизации.

Необходимые мероприятия:

- восстановление экосистем, таких как мангровые леса, может быть сделано для усиления защиты прибрежной природы и восстановления экологических функций прибрежных территорий **Зона 1, Зона 2, Зона 3.;**

- проведение реновации для районов с плотной застройкой и расселение населения для снижения антропогенного давления - **Зона 1**

- укрепление инфраструктуры может быть для борьбы с размывом берегов, таких как создание подпорные берегозащитные сооружения или восстановление растительности, способной удерживать почву в соответствии с научными исследованиями и долгосрочными экологическими расчетами Зона 3, особнно подрайон Веноренджи;

- разработка правительством политики на ближайшие 100 лет с привлечением заинтересованных сторон для снижения проявления негативных техно-природных процессов в особенности для районов с высокой плотностью населения и антропогенной нагрузки [9] **Зона 1, Зона 2;**

- корректировка землепользование для снижение рисков размыва берегов и изменение землепользования в сторону сторону уменьшения доли антропогенных ландшафтов (пустырей) **Зона 1, Зона 2, Зона 3.;**

- рекультивация в прибрежной зоне при избыточной аккумуляции - изъятия осадочного материала, и его использования для укрепления прибрежных районов, подверженных размыву **Зона 1, Зона 2, Зона 3.;**

- создание новых мест обитания, таких как искусственные острова, если это

необходимо. Пространственное планирование может быть осуществлено с учетом зон, подверженных аккумуляции, и структурирования землепользования для эффективного развития инфраструктуры и минимизации рисков проявления ПТП.

- необходимость управление прибрежной зоной, при этом процесс планирования осуществляется путем определения динамики береговой линии и потенциальных рисков и последствий, связанных с решениями, которые порождают различные сценарии будущего *Зона 1, Зона 2, Зона 3.*;

Выводы:

1). Установлено, что 8 подрайонов - 40% площади прибрежных территорий имеют низкий уровень проявления природно-техногенных процессов с диапазоном 0- 5. В то время, как 5 подрайонов (25% территории) относятся к среднему классу с диапазоном и 7 подрайонов (35%) имели высокий уровень с проявления ПТП.

2). Управление антропогенными территориями может начинаться с оценки выявления антропогенных причин, таких как строительство пляжей, рекультивация, добыча песка и загрязнение отходами. Существует необходимость в проведении оценок воздействия на окружающую среду или исследований воздействия на окружающую среду для измерения воздействия антропогенной деятельности с целью определения долгосрочных и потенциальных рисков для экосистем и сообществ в прибрежных районах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что динамика береговой линии в Сурабае за период 24 года обусловлена как природными факторами – эрозией (размывом берегов), аккумуляцией и антропогенной деятельностью. По данным снимков Landsat (1994, 2003 и 2018 гг.) зоны размыва на побережье Сурабаи были выявлены в 11 подрайонах. Общая площадь размыва составила 229645,5 м². Среди всех подрайонов именно подрайон Вонореджо имеет самую высокую площадь абразии (141637,1 м²).

Зоны аккумуляции на побережье Сурабаи определены в 18 подрайонах. Общая площадь аккумулятивных форм (пляжей) составила 8426330 м². Особенно высокие темпы зафиксированы в подрайон Кепутих, имеющего самую большую площадь накопления (4401201,3 м²).

Антропогенные преобразования затронули 4 подрайона общей площадью 1762919 м². В 2013 году был построен новый порт ТелукЛамонг в районе Бенowo (подрайон ТамбакОсовилангун), в результате чего площадь антропогенных берегов увеличилась примерно на 916068,3 м².

Опасные береговые процессы в прибрежной зоне Сурабаи, связанные с интенсивной аккумуляцией, определены в четырех прибрежных районах: Суколило, ДукухСутореджо, Калисари и Кепутих, где средняя скорость выдвигения береговой линии составляет 75,75 м/год, максимальная – 77,33 м/год (Калисари).

Опасные явления размыва зафиксированы в прибрежном подрайоне Вонореджо. Средняя скорость эрозии здесь составляет 3,4 м/год, а максимальное значение достигает 77 м/год.

Выполнен прогноз изменения береговой линии, вызванный как аккумулятивными процессами, так и эрозией на следующие 11 лет (2020-2030).

Расчеты, выполненные методом линейного регрессионного анализа, позволили получить величину изменения береговой линии в прибрежных подрайонах Сурабаи (данные по скорости изменения береговой линии). Прогнозируемое значение (2020-2030 годы) для береговой линии, испытывающей наибольший размыв, находится в подрайоне Вонореджо (район Рунгкуть), берег может отступить на 72,668 м, а для береговой линии, испытывающей наибольшее нарастание – в Калисари (район Мулиореджо), что может составить 771,11 м.

Изменения береговой линии влияют на изменения прибрежного земельного покрова (ландшафтов) Сурабаи. Существует 6 классов земель, а именно: пруды, городские районы, растительность (сельхоз угодья), мангровые заросли, водоемы и голая земля (пустоши). Данные изображений со спутника Landsat показали, что прибрежная территория в 1994 г. состояла из прудов около 45,4626 км² (49%), городской территории около 28,6038 км² (31%), растительности около 11,9304 км² (13%), мангровых зарослей около 4,5621 км² (5%), водоемов около 0,7326 км² (1 %) и пустошей около 1,5588 км² (1%). К 2018 г. площадь прудов уменьшилась до 39,0924 км² (38%), растительности – до 5,2182 км² (5%). Напротив, возросла территория городской застройки до 31,4892 км² (31%), водоемов до 8,6454 км² (9 %), до 9,3492 км² (9%), мангровых зарослей до 8,6301 км² (8%). Все изменения за последние 24 года связаны с ростом населения Сурабаи, поэтому некоторые классы земель изменили свои функции. Например, класс прудов стал классом городской территории. Кроме того, произошло изменение класса мангровых лесов на класс прудов, и наоборот. Большая часть территории Восточной Сурабаи занимали пруды и мангровые заросли, в настоящее время это жилые районы (Суколило, Рунгкуть, ГунунгАньяр, Кепутих). Накопление в подрайоне ДукухСутореджо, Калисари и Суколило привело к расширению прибрежных территорий и появлению мангровых зарослей. Их сохранение поддерживает правительство Сурабаи. Увеличение площади мангровых зарослей явилось результатом тесного сотрудничества между

правительством и местным сообществом. В Сурабае здесь развивается туристическая и образовательная зона.

Чтобы классифицировать род мангровых зарослей используется *Machine Learning SmileRandomForest* в программном обеспечении *Google Earth Engine (GEE)*. Классификация рода мангровых зарослей основана на определенном значении *NormalizedDifferenceVegetation Index (NDVI)*, так что определены 3 класса рода мангровых зарослей, а именно: диапазон значений NDVI (0–0,32) соответствует роду мангровых зарослей *Sonneratiasp*, значение NDVI диапазон (0,32 – 0,42) – роду мангровых зарослей *Avicenniasp*, диапазон значений NDVI (0,42 – 1,00) – роду мангровых зарослей *Rhizophorasp*. Род мангровых зарослей *Rhizophorasp*. произрастает преимущественно на побережье Сурабаи.

Род мангровых зарослей *Avicennia* и род мангровых зарослей *Rhizophora* имели тенденцию к увеличению с 1994, 2003 и 2018 годов. За последние 20 лет общая численность мангровых зарослей рода *Avicennia* увеличилась на 164,852 га, а мангровых зарослей рода *Avicennia* увеличилась на 574,13 га. При этом общая численность мангровых зарослей рода *Sonneratia* уменьшилась на 309,028 га. Тренд данных по роду мангровых зарослей *Sonneratia* имел явление подъема и падения, результаты обработки данных показали, что с 1994 по 2003 г. он увеличивался, но уменьшался в 2018 г. Карта распространения рода мангровых зарослей в Сурабае показала, что в 1994 г. были распространены в Восточной Сурабае и Северной Сурабае. в 2003 и 2018 годах, мангровые заросли быстро росли (были преобладающими) на побережье Восточной Сурабаи.

За 20 лет предполагаемое изменение биомассы, производимой мангровыми зарослями в Сурабае, увеличилось на 100%. В 1994 г. расчетная стоимость биомассы составляла 42,897 кг/м², в 2003 г. она увеличилась до 96,045 кг/м², а в 2018 г. снова уменьшилась на 86 158 кг/м². Расчет расчетной стоимости накопления углерода составляет половину расчетной стоимости биомассы. Так расчетная

стоимость запаса углерода в 1994 г. составила 21,449 кг/м², тогда как в 2003 г. она увеличилась до 48,023 кг/м², а в 2018 г. снова уменьшилась на 43,079 кг/м². Данные расчета расчетной стоимости биомассы в этом исследовании имеют значение корреляции с данными отчета экологической службы за 2018 г., равное 0,8903, в то время как расчетная стоимость накопления углерода составляет 0,8901.

На основе данных геоэкологической оценки по комплексу показателей (антропогенное давление, антропогенная нагрузка, интенсивность проявления опасных береговых процессов) проведено ранжирование прибрежной зоны Сурабая по степени проявления природнотехногенных процессов (ПТП).

Установлено, что 8 подрайонов - 40% площади прибрежных территорий имеют низкий уровень проявления природно-техногенных процессов с диапазоном 0- 5. В то время, как 5 подрайонов (25% территории) относятся к среднему классу с диапазоном и 7 подрайонов (35%) имели высокий уровень с проявления ПТП.

Управление антропогенными территориями может начинаться с оценки выявления антропогенных причин, таких как строительство пляжей, рекультивация, добыча песка и загрязнение отходами. Существует необходимость в проведении оценок воздействия на окружающую среду или исследований воздействия на окружающую среду для измерения воздействия антропогенной деятельности с целью определения долгосрочных и потенциальных рисков для экосистем и сообществ в прибрежных районах.

Предложены рекомендации по снижению негативных природно-техногенных воздействий на прибрежную зону Сурабая: восстановление экосистем, таких как мангровые леса, создание берегоукреплений в зонах размыва, корректировка землепользование, проведение реновации и переселения людей в зонах с высоким антропогенным давлением, рекультивация прибрежной зоны с интенсивной аккумуляции наносов, создание искусственных территорий, островов, расширение

зоны пляжей, пространственное планировании с учетом полученных результатов геоэкологической оценки.

Проведенные исследования могут быть использованы при пространственном планировании с учетом антропогенного воздействия и при эффективном управлении землепользованием и развитием инфраструктуры для снижения рисков и укрепления экологической устойчивости.

Поддержание прибрежных экосистем может осуществляться путем защиты важных прибрежных местообитаний и восстановления поврежденных экосистем для укрепления экологических и экономических функций прибрежных районов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дмитриев В. В., Фруммин Г. Т. Экологическое нормирование и устойчивость природных систем. -СПб: Наука, 2004. -294 с. Дмитриев В.В., Фруммин Г.Т. Экологическое регулирование и устойчивость природных систем. Санкт-Петербург, Наука, 2004, 294 с.
2. Кочуров Б.И. Экодиагностика и сбалансированное развитие: Учебное пособие. М.; Смоленск: Маджента, 2003. 384 с
3. Ментаски, Л., Вусдукас, М. И., Пекель, Ж. Ф., Вукувалас, Е., и Фейен, Л. (2018). Глобальные долгосрочные наблюдения за береговой эрозией и аккрецией. *Scientific Reports*, 8(1), 1-11. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-30904-w>
4. Сафитри Д.А., Беспалова Л.А. Изучение динамики береговой линии г. Сурабая (Индонезия) с использованием данных дистанционного зондирования // XV Ежегодная научная конференция молодых ученых «Вклад молодых ученых Южного макрорегиона в реализацию Стратегии развития Российской Федерации: цели, задачи, результаты»: тезисы докладов (г. Ростов-на-Дону, 15–26 апреля 2019 г.). – Ростов н/Д: Изд-во ЮНЦ РАН, 2019. – С. 53.
5. Сафитри Д.А., Беспалова Л.А. Динамика Береговой Линии Сурабая, Индонезия (1994-2018 гг.) // Системный Подход К Рациональному Природопользованию Регионов России. Материалы Научно-Практической Конференции. (г. Туапсе, 10–13 декабря 2019 г.). - Краснодар : ООО «Издательский Дом – Юг», 2019. ISBN 978-5-91718-597-2. – С 93- 97.
6. Сафитри Д.А., Беспалова Л.А. Предварительный анализ береговой линии в Сурабаи (Индонезия) // Юг России: вызовы времени, открытия, перспективы. Материалы XVI Ежегодной молодежной научной конференции (г. Ростов-на-Дону, 13 - 28 апреля 2020 г). – Ростов н/Д: Изд-во ЮНЦ РАН, 2020. – С. 41

7. Сафитри Д.А., Беспалова Л.А., Беспалова Е.В. Исследование геоморфологических изменений береговой линии Сурабай, Индонезия с использованием данных дистанционного зондирования. // Наука Юга России. - 2020. - Т.16.,№ 4. - С. 19–25.
8. Сафитри Д.А., Беспалова Л. А., Глушко А.Е. Геоэкологическая оценка степени проявления природно-техногенных процессов (на примере прибрежной зоны Сурабая в Индонезии) // Успехи современного естествознания. – 2024. – № 12. – С. 63-69.
9. Уильямс, А. Т., Рангель-Буитраго, Н., Пранцини, Е., и Анфусо, Г. (2018). Управление береговой эрозией. *Ocean and Coastal Management*, 156, 4-20. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.03.022>
10. Achiari H., Wiyono A., Sasaki J. Current Characteristics and Shoreline Change at Pondok-Bali, North Coast-West Java of Indonesia // *Procedia Earth and Planetary Science*. - 2015. - Т. 14. - С. 161–165.
11. Amarrohman F.J, Sasmito B., Istiqomah F. Pemantauan Perubahan Garis Pantai Menggunakan Aplikasi Digital Shoreline Analysis System (DSAS) Studi Kasus: Pesisir Kabupaten Demak. // *Jurnal Geodesi Undip*. - 2016 -№5. - С.78–89. (in Bahasa)
12. Anselin L, Griffith DA. Do Spatial Effects Really Matter In Regression Analysis? // *Regional Science Association*. 1988 №65(1). - С. 11–34. doi:10.1111/j.1435-5597.1988.tb01155.x
13. Anwar H, Mertha IG. Komposisi Jenis Mangrove Di Teluk Gerupuk Kabupaten Lombok Tengah. // *Jurnal Sangkareang Mataram*. – 2017 - №3(2) - С. 25-31. (in Bahasa)
14. Anwar J., Damanik SJ., Hisyam N., Whitten AJ. *Ekologi ekosistem Sumatera*. - Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 1984. – 295 с.
15. Ardiansyah A. Remote sensing image processing using ENVI 5.1 and ENVI LiDAR.

- PT. Labsig Inderaja Islim; 2015. (in Bahasa)
16. Arif A. A., Machar I., Azmeri A. Vulnerability factors in small islands and environmental carrying capacity by the AHP method. Case Study: Weh Island, Aceh, Indonesia // IOP Conference Series Earth and Environmental Science- 2021. - T. 630., № 1. - C. 012012. DOI: 10.1088/1755-1315/630/1/012012
 17. Arjasakusuma S., Kusuma S.S., Saringatin S., Mutaqin B.W., Wicaksono P., Rafif R. Shoreline Dynamics in East Java Province, Indonesia, from 2000 to 2019 Using Multi-Sensor Remote Sensing Data // Land. - 2021. - T. 10., № 2. - C. 100.
 18. Arkwright D., Suntoyo S. Application of Empirical Orthogonal Function Models to Analyze Shoreline Change at Bangkalan Madura // Makara Journal of Technology. - 2011. - T. 15., № 2. – C.153-160
 19. Artikanur S. D., Widiatmaka W.,Setiawan Y., Marimin M. Predicting Sugar Balance as the Impact of Land-Use/Land-Cover Change Dynamics in a Sugarcane Producing Regency in East Java, Indonesia // Frontiers in Environmental Science. - 2022. - T. 10 [Электронныйресурс]Режимдоступа: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.787207>
 20. Badan Pusat Statistik - Statistics of Surabaya Municipality. Surabaya City in Number 2019. Surabaya; 2019. (in Bahasa)
 21. Badan Pusat Statistik - Statistics of Surabaya Municipality. Surabaya City Regional Statistics 2019. Surabaya; 2019. (in Bahasa)
 22. Badan Pusat Statistik - Statistics of Surabaya Municipality. Surabaya City in Number 2017. Surabaya; 2017. (in Bahasa)
 23. Badan Pusat Statistik - Statistics of Surabaya Municipality. Province of East Java in Numbers. 2018. (in Bahasa)
 24. Badan Pusat Statistik. Rata-Rata Tinggi Wilayah di Atas Permukaan Air Laut (DPL) Menurut Pos Hujan di Kabupaten/Kota di Provinsi Jawa Timur. [Электронныйресурс] Режим доступа: <https://jatim.bps.go.id/>

- statictable/2017/08/29/611/rata-rata-tinggi-wilayah-di-atas-permukaan-air-laut-dpl-menurut-pos-hujan-di-kabupaten-kota-di-provinsi-jawa-timur-2016.html .
Published 2016. Accessed on Maret 31, 2021. (in Bahasa)
25. Badan Standarisasi Nasional. (2010). SNI 7645:2010 tentang Klasifikasi Penutup Lahan. SNI 7645:2010, 1-28.
 26. Bahri S, MadlazimM. Pemetaan Topografi, Geofisika Dan Geologi Kota Surabaya. // Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya (JPFA).- 2012. -T.2, №2. C. 23–28. (in Bahasa)
 27. Bumi I. S., Widyaningtias, Adityawan M. B. Coastal Erosion Management by Implementing Concept of Building with Nature (BwN) in Demak Regency, Central Java, Indonesia // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. - 2021. - T. 698. - № 1. C. 012005.
 28. Cannicci et al., 2021). Cannicci, S., Lee, S.Ya., Bravo, H., Kantera-Kintz, J.R., Dahduh-Guebas, F., Fratini, S., Fuzi, M., Jimenez, P.J., Nordhaus, I., Porri, F., and Deal, K. (2021). Functional analysis reveals extremely low redundancy in the global invertebrate fauna of mangrove forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 118(32), 1-8. <https://doi.org/10.1073/pnas.2016913118>)
 29. Cipta IM, Sobarman FA, Sanjaya H, Darminto MR. Analysis of Mangrove Forest Change from Multi-Temporal Landsat Imagery Using Google Earth Engine Application : (Case Study: Belitung Archipelago 1990 - 2020). // IEEE Asia-Pacific Conference on Geoscience, Electronics and Remote Sensing Technology (AGERS). – 2021. - C.90–95.DOI:10.1109/AGERS53903.2021.9617354
 30. Murdiyarso D., HerawatiH., VirniB. Carbon Forestry: Who will benefit? // Proceeding of Workshop on Carbon Sequestration and Sustainable Livelihoods, 2014.– 215 c.
 31. Darmiwati R. The New Urbanism of Fishermen’s Village in Bulak Settlement

- Surabaya // Journal of Architecture&Environment. - 2016. - T. 15. № 1. - C. 25–40.
32. Dinas Lingkungan Hidup Pemerintah Kota Surabaya. Estimasi Stok Karbon di Kawasan Mangrove Pantai Timur Kota Surabaya. Surabaya: Dinas Lingkungan Hidup Kota Surabaya; 2017. (in Bahasa)
 33. Dinas Lingkungan Hidup Kota Surabaya. The Biodiversity Profile of Surabaya, The Ecosystem of the Pond.; 2016. (in Bahasa)
 34. Dinas Lingkungan Hidup Pemerintah Kota Surabaya. Kegiatan Pemantauan Kualitas Air Laut di Kawasan Pesisir dan Laut Kota Surabaya: Survey Analisa Vegetasi Mangrove.; 2018. (in Bahasa)
 35. DewiR. S., Bijker W., SteinA., Marfai M.A.Fuzzy Classification for Shoreline Change Monitoring in a Part of the Northern Coastal Area of Java, Indonesia // Remote Sensing. - 2016. - T. 8., № 3. - C. 190.
 36. Depdagri. (2023). Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 6 Tahun 2023 Tentang Penetapan Peraturan Pemerintah Pengganti Undang-Undang Nomor 2 Tahun 2022 Tentang Cipta Kerja Menjadi Undang-Undang. Departemen Dalam Negeri Republik Indonesia, 176733, 1-1127
 37. DPM-PTSP. Geografis Kota Surabaya. Published 2017. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://dpm-ptsp.surabaya.go.id/v3/pages/geografis>.
 38. Ergul E. Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0 -An ArcGIS extension for calculating shoreline change (ver. 4.4, July 2017).; 2017. doi:10.3133/ofr20081278
 39. Ervita K., Marfai M. A. Shoreline Change Analysis in Demak, Indonesia // Journal of Environmental Protection. - 2017. - T.8., № 8. - C. 940–955.
 40. Fattah M., Intyas C.I., Utami N.T., Abdillah D.S. The Advantages Position Mapping of «Bee Jay Bakau Resort» Ecotourism // Jurnal Penelitian Sosial dan Ekonomi Kehutanan. - 2021. - T.18., № 2. - C. 129–139. (in English)

41. Ford M. Shoreline changes interpreted from multi-temporal aerial photographs and high resolution satellite images: Wotje Atoll, Marshall Islands // *Remote Sensing of Environment.*- 2013. - T.135. - C. 130–140.
42. Fuad M.A.Z., A M. Fais D. Automatic Detection of Decadal Shoreline Change on Northern Coastal of Gresik, East Java – Indonesia // *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2017. T. 98. № 1. C. 012001.DOI: 10.1088/1755-1315/98/1/012001
43. Gandharum L., Hartono D.M., Karsidi A., Ahmad M.идр. Monitoring Urban Expansion and Loss of Agriculture on the North Coast of West Java Province, Indonesia, Using Google Earth Engine and Intensity Analysis // *ScientificWorldJournal.* - 2022. - T. 2022. Article ID 3123788, 16 pages, Режим доступа: <https://doi.org/10.1155/2022/3123788>
44. Hendriyono W, Wibowo M, Al B., Catur D. Modeling of Sediment Transport Affecting the Coastline Changes due to Infrastructures in Batang - Central Java. // *Procedia Earth Planet Sci.* – 2015 - №14C.166–178. doi:10.1016/j.proeps.2015.07.098
45. Huete A, Didan K, Leeuwen WV, Miura T, Glenn E. MODIS vegetation indices. // *L Remote Sens Glob Environ Chang.*– 2011 №26C. 579–602. doi:10.1007/978 -1-4419-6749-7_26.
46. Ирѐнг, Э. (2011). Sebagian Besar Hutan Mangrove Jadi Tambak. <https://www.antaraneews.com/berita/257708/sebagian-besar-hutan-mangrove-jadi-tambak>
47. PenmanJ., GytarskyM, HiraishiT., KrugT., KrugerD., PipattiR, BuendiaL, MiwaK, NgaraT., TanabeK., WagnerF. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. - Kanagawa: Institute for Global Environmental Strategies (IGES) for the IPCC, 2003.ISBN 4-88788-003-0
48. Kalther J., Itaya A. Coastline changes and their effects on land use and cover in Subang, Indonesia // *J Coast Conserv.* - 2020. - T. 24., № 2. - C.

16.<https://doi.org/10.1073/pnas.2016913118>

49. Katherina L.K. Dinamika Pertumbuhan Penduduk Dan Kejadian Banjir Di Kota : Kasus Surabaya (Dynamic Of Population Growth And Flooding Incidents In Cities : Case Of Surabaya). // Jurnal Kependudukan Indonesia. – 2017. №12(2). C.131–144. (in Bahasa)
50. Khomsin, Pratomo D. G., Pramudya F. A. Evaluation of shoreline change using multitemporal satellite images // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. - 2021. - T. 731. № 1. - C. 012006.DOI 10.1088/1755-1315/731/1/012006
51. Kusmana C. Pengelolaan Ekosistem Mangrove Secara Berkelanjutan dan Berbasis Masyarakat. Lokakarya Nasional Pengelolaan Ekosist Mangrove. 2002. (in Bahasa).
52. Liu K, Shi W, Zhang H. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing A fuzzy topology-based maximum likelihood classification. // ISPRS J Photogramm Remote Sens. – 2011. - №66(1)C.103–114. doi:10.1016/j.isprsjprs.2010.09.007
53. Lipton ZC, Elkan C, Naryanaswamy B. Thresholding Classifiers to Maximize F1 Score Optimal Thresholding of Classifiers to Maximize F1 Measure. January 2014. Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/262996346_Thresholding_Classifiers_to_Maximize_F1_Score
54. Lubis L., Wahyudi A. The Implementation of Mangrove Policy on the East Coast of Surabaya//Advances in Social Science, Education and Humanities Research. - 2019. №353- C. 231–236.
55. IrsyamM.. Development of Seismic Hazard and Risk Maps for New Seismic Building and Infrastructure Codes in Indonesia. //Embracing the Future through Sustainability : МатериалыThe 6th Civil Engineering Conference in Asia Region.- 2010. ISBN 978-602-8605-08-3.
56. Maiti S., Bhattacharya A. K. Shoreline change analysis and its application to prediction: A remote sensing and statistics based approach // Marine Geology. -

2009. - T. 257., № 1. -C. 11–23.
57. Mauluddin S., Meilianda E., Syamsidik S. Level of Coastal Protection Damage and Priority of Handling (Case Study of Alue Naga – Neuheun, Aceh Besar, Indonesia) // *International Journal of Disaster Management*. - 2019. -T. 2., № 1. - C. 27–39.
58. Noor YR, Khazali. M, Suryadipura INN. Panduan mengenal mangrove di Indonesia. // *Wetl Int Indones Program*. – 2006. C. 220. (in Bahasa)
59. Nurdin M. Wisata Hutan Mangrove Wonorejo : Potensi Ecotourism Dan Edutourism di Surabaya // *Jurnal Kelautan : Indonesian Journal of Marine Science and Technology*. - 2011. - T. 4., № 1. - C. 11–17.
60. Pane, M. M., Hasyim, A. W., & Surjono, S. (2020). Faktor Yang Mempengaruhi Perubahan Tutupan Lahan Ruang Terbuka Hijau Di Pantai Timur Surabaya and Environment Journal, 9(0341), 99-110. <https://purejournal.ub.ac.id/index.php/pure/article/view/201>
61. Pattipawaej O.C., Dani H.J. Two-Dimensional Submerged Rubble-Mound Breakwater Model using Tetrapod at Armor Layer. // *International Conference on Technology, Innovation, and Society (ICTIS) (20-21 июля 2016, Padang)*. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://repository.maranatha.edu/31737/>
62. Pranata R, Patendean A, Yani A. Analisis Sebaran dan kerapatan mangrove menggunakan citra landsat 8 di Kabupaten Maros. // *Sains dan Pendidik Fis*. 2016. - №12(1). - C. 88–95. (in Bahasa)
63. Pemerintah Kota Surabaya. Surabaya City Profile 2016. Surabaya; 2016. (in Bahasa)
64. Pemerintah Kota Surabaya. Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah Kota Surabaya Tahun 2016-2021. Surabaya; 2016. (in Bahasa)
65. Pemerintah Kota Surabaya. (2014). Peraturan Daerah Kota Surabaya Nomor 12 Tahun 2014 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Surabaya Tahun 2014-2034. Pemerintah Kota Surabaya, 1965, 1-173.
66. Prasetyo Y., Bashit N., Sasmito B., Setianingsih W. Impact of Land Subsidence and

- Sea Level Rise Influence Shoreline Change in The Coastal Area of Demak // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. - 2019. - T. 280, № 1. - C. 012006. DOI 10.1088/1755-1315/280/1/012006
67. Quirine M Ketterings, Richard Coe, Meine van Noordwijk, Yakub Ambagau, Cheryl A Palm. Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. // *Ecol Manage.* – 2001 №120. - C.199–209.
68. Republik Indonesia. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 16 Tahun 1997 Tentang Statistik.; 1997. (in Bahasa)
69. S B. Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forest. A Primer. FAO USAFAO For Pap. 1997;- 134c.
70. Safitri D.A., Bepalova L.A., Wijayanti F. Changes in Land Use in Eastern Surabaya, Indonesia, and Their Impact on Coastal Society and Aquaculture // *R-ECONOMY.* – 2019. - №5(4). - C. 198-207. DOI:10.15826/recon.2019.5.4.020 (in English). Scopus
71. Safitri D. A., Bepalova L.A. The Changing of Coastline in Surabaya Indonesia Using the Technology of Remote Sensing // *Ломоносов-2019. Материалы Международного молодежного научного форума / Отв. ред. И.А. Алешковский, А.В. Андриянов, Е.А. Антипов. [Электронный ресурс]. – М.: МАКС Пресс, 2019. (in English)*
72. Safitri D.A., Bepalova L.A. Early studies of Land Cover Change in coastal East Surabaya, Indonesia Using Remote Sensing Data // *Adapting to the Coastal Zone Challenges and Risks: Innovative Approaches and Solutions for Local and Regional Authorities in the Balkans-Mediterranean Region. Proceedings of Virtual International conference on tackling coastal erosion, (Greece “Online”, 18-19 June 2020).* - Municipality of Paggaio, Greece, 2020. ISBN : 978-618-83472-1-2. P. 53. (in English)

73. Safitri D.A., Bepalova L.A. Land Cover Changes in Coastal Surabaya with Remote Sensing Data (1994-2018). // Environmental Problems. Looking Into the Future. Proceeding of IX International Scientific and Practical Conference (Rostov-on-Don, October 22-23, 2020). – 2020. - С.766-770. (in English).
74. Safitri D.A., Bepalova L.A., Bioresita F., Nugroho R.T. Land Cover Amendment in Coastal Areas of Surabaya due to Coastline Change based on Multi-temporal Satellite Imagery // Review of International Geographical Education Online. – 2021. - №11(5). - С. 2570-2580. DOI:10.48047/rigeo.11.05.154 (in English). Scopus
75. Safitri D.A., Bepalova L.A., Bioresita F., Nugroho R.T. Detecting coastline change in the Surabaya coastal areas using remote sensing method // НаукаЮгаРоссии. - 2021. - Т. 17. - № 3. - С. 10–17 (in English).
76. Safitri D.A., Bioresita F., Tri Andjarwati, Bepalova L.A., Seto Kusuma, Ramadanings N. The Socioeconomic Effect of Changes in Coastal Areas: A Case Study of Coastal Areas in Surabaya // Journal of Extrapolasi – 2022. - №19(2). - С.106-120. (in English). SINTA.
77. Safitri D.A., Bepalova L.A., Ramadanings N., Sobarman F.A. Comparison of Coastal Land Cover Classification in Surabaya, Indonesia, Using the Maximum Likelihood and the Random Forest Algorithm. // НаукаЮгаРоссии: достиженияиперспективы. Материалы XVIII Ежегодной молодежной научной конференции. (Rostov-on-Don, April 18–29 2022). – Ростов-н/Д: Изд-во ЮНЦ РАН, 2022. С.103-104 (in English)
78. Safitri D.A., Bepalova L.A., Ramadanings N, Sobarman F.A. Land cover changes in Surabaya, Indonesia, using Google Earth Engine // НаукаЮгаРоссии: достижения и перспективы. Материалы XVIII Ежегодной молодежной научной конференции. (Rostov-on-Don, April 18–29 2022). – Ростов-н/Д: Изд-во ЮНЦ РАН, 2022. С.104-105 (in English)

79. Safitri D.A., Bepalova L.A., Ramadaningtyas N., Sobarman F.A. Study of Coastline Amendment Prediction in Coastal Areas of Surabaya based on Multi-temporal Satellite Imagery// Field-Based and Theoretical Research in Shore Use Practice. Proceedings of XXIX Coastal Conference. (Kaliningrad, April 18–24, 2022). (in English).
80. Safitri D.A., Nugroho R.T., Bepalova L.A. Land Cover Change Analysis on The Coast of Surabaya Indonesia (Case Study: Eastern Part of Surabaya, 1994 – 2022) // Geospatial Technology For Mapping The Future: Integrated mapping for sustainable environment. Proceedings of Geomatics International Conference 2023. [Электронный ресурс]. URL: https://www.researchgate.net/publication/376870843_Land_Cover_Change_Analysis_on_The_Coast_of_Surabaya_Indonesia_Case_Study_Eastern_Part_of_Surabaya_1994_-_2022 DOI: 10.1088/1755-1315/1276/1/012038 (in English).
81. Safitri D.A., Bioresita F., Nugroho R.T., Bepalova L.A., Ramadaningtyas N., Sobarman F.A. Mapping and monitoring of mangrove area in Surabaya (Indonesia) in the period of 1994–2018 using Landsat satellite data and Google Earth Engine // Наука Юга России. – 2023. – Т.19. - № 1. – С. 51-58.
82. Safitri D. A., Saves F., Fatmawati L. E., Widhiato H. Temporal Mapping of Coastal Areas Using Landsat Satellite Imagery: // Physics and Mechanics of New Materials and Their Applications. International Conference (PHENMA 2023) (Surabaya, Indonesia, October 03-08, 2023) (in English).
83. Safitri D. A., Saves F., Tigor. Dinamika Garis Pantai Surabaya Tahun 1994 – 2023: // Sustainability of Forest City for IKN. Konferensi Nasional Teknik Sipil (KoNTekS 17) (Balikpapan, Indonesia, November 16-18, 2023) (in Bahasa).
84. Safitri D.A., Saves F, Alina A.N., Bepalova L.A., Dhani N.Q. Utilization of geographic information systems for monitoring flood disaster hazards in Surabaya.) // Экология. Экономика. Информатика. Серия:

Геоинформационные технологии и космический мониторинг. – Выпуск 9. –
Ростов-на-Дону:Издательство ЮНЦ РАН, 2024. С 92–102.

85. Sani LH. Komposisi Moluska Asosiasi Mangrove Alami dan Rehabilitasi Pesisir Lombok Selatan. Program Studi Biologi Fakultas MIPA Universitas Mataram; 2019. (in Bahasa)
86. Scott AJ, Symons MJ. Clustering Methods Based on Likelihood Ratio Criteria. //Biometrics. – 1971.- №27 (2). С. 387-397.
87. Setyorini A., Khare D., Pingale S. M. Simulating the impact of land use/land cover change and climate variability on watershed hydrology in the Upper Brantas basin, Indonesia // Appl Geomat. - 2017. - Т. 9., № 3. - С. 191–204.
88. Shaghude YW, Mburu W, Arthurton R, Dubi A. Shoreline Change in Tanzania and Kenya: Manual for Assessment and Design of Mitigation Strategies. WIOMSABook Series №16, 2010. -85 с.
89. Sharma R. и др. Modeling Land Use and Land Cover Changes and Their Effects on Biodiversity in Central Kalimantan, Indonesia // Land. - 2018. - Т.7., № 2. - С. 57.
90. Suharyo, O. S., & Hidayah, Z. (2019). Pemanfaatan Citra Satelit Resolusi Tinggi Untuk Identifikasi Perubahan Garis Pantai Pesisir Utara Surabaya. Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology, 12(1), 89. <https://doi.org/10.21107/jk.v12i1.5084>
91. Supandjono JB, Hasan K, Panggabean H, Satria D, Sukardi. Geological map of the Surabaya and Sapulu Quadrangle, Jawa. 1992. (in Bahasa)
92. Sveinsson J, Joelsson S, Benediktsson J. Random Forest Classification of Remote Sensing Data. // Signal Image Process Remote Sens.– 2006. №(978). - С.327–338.
93. Tiezhu Shi, Jue Liu, Zhongwen Hu, Huizeng Liu. New Spectral Metrics For Mangrove Forest Identification. // Remote Sens Lett.- 2016 №7(9). С. 885–894. doi:10.1080/2150704X.2016.1195935
94. Thieler E.R., Himmelstoss E.A., Zichichi J.L., Ergul A. The Digital Shoreline

Analysis System (DSAS) version 4.0 - An ArcGIS extension for calculating shoreline change (ver. 4.4, July 2017): U.S. Geological Survey Open-File Report 2008- 1278. doi: 10.3133/ofr20081278

95. Wahyuni N., Suryawan A. Pembangunan Plot Sampling Permanen (PSP) untuk Mendukung Sistem MRV Stok Karbon Hutan di Propinsi Sulawesi Utara, Manado. 2012. Режим доступа: <https://id.scribd.com/document/442570450/cadangan-karbon-pdf> (inBahasa)
96. Widyaningrum A. Y., Nugraheni Y. Perempuan dan pemaknaan triple bottom line di kawasan mangrove surabaya // Jurnal Studi Komunikasi.- 2019. - T.3., № 3. - C. 444–459.
97. Wijaya NI, Huda M. Monitoring Sebaran Vegetasi Mangrove yang Direhabilitasi Di Kawasan Ekowisata mangrove Wonorejo Surabaya // J Ilmu dan Teknol Kelaut Trop. – 2018 №10(3). C. 747–755. doi:<http://dx.doi.org/10.29244/jitkt.v10i3.21271>. (in Bahasa)
98. Antara. 2010. Rawan Abrasi. <https://www.antaranews.com/foto/6372/rawan-abrasi> (accessed on 27 September 2024).
99. Pemerintah Kota Surabaya. 2024. Panen ikan bandeng 588 kg, DKPP Surabaya bagikan ke warga untuk penanganan stunting. <https://www.surabaya.go.id/id/berita/78899/panen-ikan-bandeng-588-kg-dkpp-surabaya-bagikan-ke-warga-untuk-penanganan-stunting> (accessed on 27 September 2024).
100. ISL News. 2023. Terminal Teluk Lamong dibangun sebagai pengembangan dari Pelabuhan Tanjung Perak. <https://www.islnewstv.com/2023/12/terminal-teluk-lamong-dibangun-sebagai.html> (accessed on 27 September 2024).
101. Rouse D. W., Jr. J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., Deering (1973), Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ErtS. In3rd ERTS Symp., no. NASA SP-351 I, pp. 309– 317.
102. Steininger, M.K. (2000), Satellite estimation of tropical secondary forest above-

ground biomass: Data from Brazil and Bolivi. *Int. J. Remote Sens*, 21, 1139–1157, <https://doi.org/10.1080/014311600210119>.

103. Syamsu, Fauzi, I., Nugraha, Zaky, A., Nugraheni, C.T., Salmana (2018). *Kajian Ekosistem Mangrove Pantai Timur Surabaya*. IPB Bogor (In Bahasa)
104. Pratiwi IA, Irawan B. Mold community diversity differences in Wonorejo Surabaya habitats. In Rohmah Z, Hidayati L, Arisuryanti T, Maryani, Aristya GR, editors, *Inventing Prosperous Future through Biological Research and Tropical Biodiversity Management: Proceedings of the 5th International Conference on Biological Science*. American Institute of Physics Inc. 2018. 020034. (AIP Conference Proceedings). doi: 10.1063/1.5050130
105. Pemerintah Kota Surabaya. 2021. *Geografi Pemerintah Kota Surabaya*. <https://surabaya.go.id/id/page/0/8227/geografi>
106. Bruno, Delia & Barca, Emanuele & Gonçalves, Rodrigo & Lay-Ekuakille, Aimé & Maggi, Sabino & Passarella, Giuseppe. (2016). *Evolutionary Polynomial Regression Model for the Prediction of Coastal Dynamics*.