

УДК 627.222.24:528.88(15)(261.24)

© Н.А. Брыксина

Н.А. Брыксина

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

Введение

Береговая зона морей и океанов является одним из динамично развивающихся природных образований. На ее формирование оказывают влияние климатические факторы, гидродинамические условия моря, геолого-геоморфологические условия побережья, техногенные факторы и др. С изменением уровня Мирового океана в условиях глобального потепления климата проблема изучения динамики береговой зоны морей как в России, так и за рубежом становится особенно актуальной. В последние десятилетия отмечается возросшее разрушение берегов морей России вследствие активизации природных и техногенных процессов, что усложняет задачу своевременного проведения природоохранных мероприятий, выбора методов и средств берегозащиты. Во время экстремальных штормов (более 7 баллов) повторяемостью один раз в 5-7 лет увеличилась интенсивность разрушения берегов в Балтийском море до 4,0-6,0 м в год. При этом смывается от 1,5 до 3 млн м³ грунта и песчаных наносов, а в отдельные экстремальные шторма – до 6-10 млн м³ рыхлого материала [2]. В результате интенсивных разрушений часть зданий и построек в городах Зеленоградске, Пионерском, Светлогорске, Отрадном, поселках Филино, Рыбном, Донском, находящихся на берегу, оказалась в опасной зоне – от 2-4 до 50-60 м от верхней бровки берегового уступа [3]. Однако в большинстве случаев нарушение естественного состояния режима морских берегов и, как следствие, изменение береговых контуров связывают с техногенными воздействиями. Строительство любых гидротехнических сооружений, добыча строительных материалов и отвал горных пород при добыче полезных ископаемых, функционирование рекреационных зон и т.д. оказывают определенное влияние на динамику берега, и чаще всего негативное. С изменением технологии янтарного производства на Балтийском побережье на современную динамику морского берега, особенно в пределах Самбийского полуострова, в значительной степени оказывает прекращение сбросов в прибрежную зону рыхлого материала из карьеров Янтарного комбината [5].

Для разработки мероприятий по контролю и управлению береговыми процессами и принятия управленческих решений с целью сохранения и геоэкологической защиты пляжных территорий требуется проведение исследований изменения береговой зоны. На сегодняшний день традиционные методы топографической съемки не в состоянии оперативно отобразить информацию изменчивости береговых границ и во многом уступают современным геоинформационным технологиям. Большая протяженность береговой зоны Балтийского моря обуславливает особую важность применения дистанционных методов и географических информационных систем при решении различных геоэкологических задач береговых процессов. В большинстве случаев в дистанционных исследованиях береговой зоны используются космические снимки. Аэрофотосъемка и лазерное сканирование из-за высокой их стоимости используются в единичных случаях при детальном исследовании береговых и подводных процессов. Преимущество использования современных космических снимков (КС) высокого разрешения состоит в том, что при сопоставимых с аэрофотосъемкой величинах пространственного разрешения КС обеспечивает значительно больший по площади охват территории. Более того, в последние годы благодаря прогрессу в развитии информационно-космических технологий существенно возросло пространственное разрешение КС, что создает возможность изучать более детально изменения некоторых береговых процессов. Снимки с высоким пространственным разрешением (0,5-0,8 м) можно получать со спутников Ikonos с 1999 года, QuickBird с 2001 года, WorldView-1 с 2007 года и т.д. Небольшой архив снимков высокого разрешения по временному охвату, а также их высокая стоимость не позволяют их использовать в исследованиях многолетней динамики береговой зоны. По этой причине в дистанционных исследованиях береговой зоны преимущественно используются снимки со спутников Landsat с более чем 35-летним архивом спутниковых данных. Результаты этих исследований находят свое отражение в ряде работ российских [6] и зарубежных ученых [7-9].

В большинстве случаев дистанционное исследование динамики береговой линии ограничивается качественным анализом изменения состояния, а количественных оценок (изменение площади береговой зоны, скорости абразии/аккумуляции берегов) недостаточно, что и определило актуальность данной работы. Целью настоящей работы является исследование современного состояния береговой линии Балтийского моря с учетом количественных данных о динамике площади береговой зоны, полученных путем дистанционных измерений с использованием разновременных космических снимков.

Описание объекта исследования

Береговая линия Балтийского моря изрезана многочисленными заливами. В их число входят Куршский и Калининградский заливы – мелководные лагуны, отделенные от моря узкими косами (рис. 1). С морем их соединяют проливы шириной 300-400 метров. Общая протяженность морского берега составляет 146 км. На коренные берега Самбийского полуострова приходится 74 км, на северную часть Вислинской косы – 25 км и на южную часть Куршской косы – 49 км [3].

Формирование берегов, сложенных рыхлыми песчаными и глинистыми чередующимися прослоями, ранее и сейчас происходит под воздействием штормовых волн, прибрежных течений и ветра. В результате этого образовались две разновидности берегов: абразионные и аккумулятивные. Абразионные берега составляют 35% от всей протяженности морского побережья и в основном приурочены к коренным берегам Самбийского полуострова, прикорневой части Куршской косы и другим возвышенным участкам [2]. Побережье Самбийского полуострова характеризуется активной абразией берегов, практически полным отсутствием стабильных участков клифа, слабым развитием пляжей, отсутствием авандюна, большими уклонами подводного берегового склона, широким распространением в прибрежной зоне валунно-глыбового бенча. Наиболее интенсивно разрушение берегов происходит по бортам бухт пос. Фирино до г. Светлогорска, южнее мыса Гвардейский, на западной окраине г. Зеленоградска. Темп отступления берега на этих участках колеблется от 0,5-0,7 до 1,0-1,5 м/год [1]. Отмечается тенденция к усилению размыва берегов на Куршской косе, особенно на южном участке, где



Рис. 1. Карта-схема физико-географического районирования Калининградской области

видимого накопления наносного материала в настоящее время не происходит. Этому способствуют особенности гидро- и литодинамического режимов на этом участке побережья, формирующие полосу компенсационных противотечений, эоловые процессы, играющие большую роль в формировании здесь дефицита обломочного материала.

Методика и данные

Для исследования динамики площади береговой зоны использовались разновременные данные со спутников Landsat за период с 1973 по 2010 годы. Для анализа выбирались снимки, полученные в летний период, когда конфигурация береговой линии относительно постоянна. Всего для исследования за период 1973-2010 гг. было отобрано пять безоблачных снимков Landsat. В табл. 1 приведена сформированная коллекция космических снимков и картографических материалов на береговую линию.

Космический аппарат Landsat-2 оснащен сканирующей системой MSS (Multispectral Scanner), зондирующей в 4 спектральных каналах (в видимом и ближнем инфракрасных каналах). Пространственное разрешение в каждом канале составляет около 60×80 м. Снимки Landsat-5 получены сканером ТМ (Thematic Mapper), формирующим изображения в 7 участках спектра. Пространственное разрешение в видимом, ближнем инфракрасном и инфракрасном диапазонах составляет 30 м, в тепловом инфракрасном участке спектра – 120 м. В качестве сканирующего устройства на борту спутника Landsat-7 применена мультиспектральная камера ЕТМ+ (Enhanced Thematic Mapper Plus), позволяющая принимать информацию в 8 спектральных каналах. Пространственное разрешение снимков земной поверхности в видимых и инфракрасных каналах составляет 30 м, разрешение панхроматического изображения – 15 м и разрешение термального канала – 60 м.

Снимки Landsat, полученные из общедоступного архива Global Land Cover Facility [10], относятся

к уровню обработки 1Т («земная» коррекция), включающему радиометрическую и геометрическую коррекцию с использованием цифровых моделей рельефа. Немецкие топографические карты территории бывшего Кенигсберга, ныне Калининграда, в масштабах 1:25 000 и 1:100 000 были получены из архива картографических данных по Восточной Пруссии [11].

Коллекция снимков Landsat имеет географическую привязку в проекцию UTM (зона 34 N, WGS-84). Географическая привязка топографических карт производилась в системе координат Пулково 1942 (зона 4 N) и в проекции Гаусса Крюгера по узлам линейной сетки с заданным шагом по обеим осям.

Для исследования динамики береговой линии использовались 4- и 5-спектральные каналы снимков Landsat (инфракрасный диапазон), в которых наблюдаются наиболее существенные отличия в яркости снимка водной поверхности от других типов подстилающей поверхности [4]. Для обработки и анализа изображений использовались программные комплексы ENVI 4.7 и ArcGIS 9.3. На рис. 2 дана схема последовательных этапов обработки космических снимков.

Классификация водной поверхности моря на снимках Landsat проводилась способом двоичного кодирования (алгоритм Binaryencodingclassification) в программном обеспечении ENVI 4.7. Для реализации алгоритма Binaryencodingclassification задавались следующие параметры:

- 1) SelectClassesfromRegions – список областей интереса;
- 2) MinimumEncodingThreshold – минимальный порог кодирования, который задается для разграничения классов.

На рис. 3 приведены результаты классификации на снимках Landsat, при которой определена граница между водной поверхностью моря и суши: а – в 4-м канале снимка Landsat-2 (18.08.1979 г.); б – в 5-м канале снимка Landsat-5 (21.07.2010 г.).

Таблица 1

Коллекция снимков на береговую линию

| Космические снимки | Даты съемки |
|-------------------------|---------------|
| Топо. карта (1:25 000) | 1939 г. |
| Топо. карта (1:100 000) | 1984 г. |
| Landsat-2 (MSS) | 18.08.1979 г. |
| Landsat-5 (MSS) | 17.06.1992 г. |
| Landsat-7 (ETM) | 31.07.1999 г. |
| Landsat-5 (TM) | 10.07.2006 г. |
| Landsat-5 (TM) | 21.07.2010 г. |

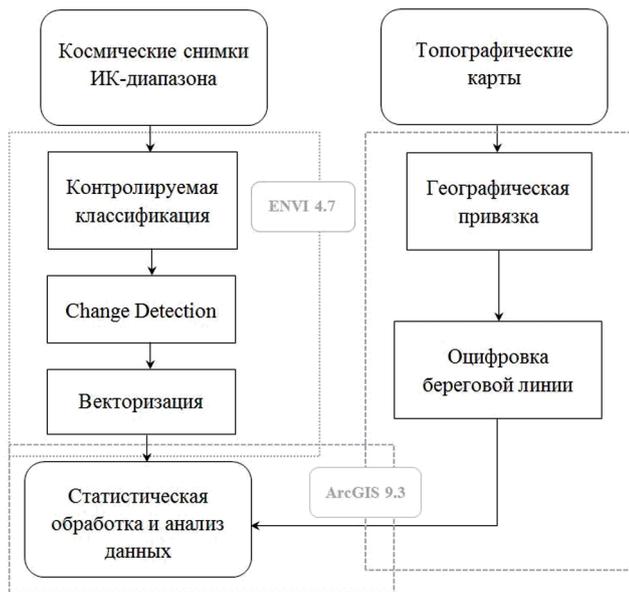


Рис. 2. Схема последовательности этапов исследования динамики береговой зоны

Для количественной оценки изменения площади береговой зоны за период исследования применялся алгоритм ChangeDetection к тематическим изображениям, предварительно полученным на этапе «Контролируемая классификация». Данный алгоритм основан на вычитании разновременных снимков или тематических изображений, полученных одной и той же или похожими съемочными системами, после проведения геометрической коррекции. На этапе «Векторизация» проводилось

автоматическое определение площади береговой зоны. Обработка и анализ данных производились с помощью программного обеспечения ArcGIS 9.3. Для определения скорости размыва участков береговой зоны за период исследования по узлам линейных шейп-файлов с береговой линией строился точечный слой. Расстояние между точками вычислялось с использованием функции «Near» в программном обеспечении ArcGIS 9.3, затем в таблице атрибутов для расчетных точек были вычислены скорости размыва (аккумуляции) берегов.

Результаты исследования и их обсуждение

Как видно из рис. 4, на всем протяжении морской береговой линии в разные годы наблюдается изменение конфигурации, особенно резко отличающееся в 1939 году от современного положения (2010 г.) вблизи районов Покровское-Новое, Янтарное, Синявино. Для количественной оценки изменения площади береговой зоны в периоды с 1979 по 2010 гг. предварительно к отклассифицированным снимкам Landsat применялся алгоритм ChangeDetection (рис. 5). Зона исследования условно была разделена на четыре тестовых участка, далее ТУ (рис. 6).

На рис. 7 и 8 показаны диаграммы изменения суммарной площади участков береговой зоны за периоды исследования и в среднем за год на тестовых участках.

Анализ диаграмм на рис. 7 и 8 показывает, что в период с 1979 по 1992 гг. исследования на всем побережье Самбийского полуострова: ТУ-2, ТУ-3,

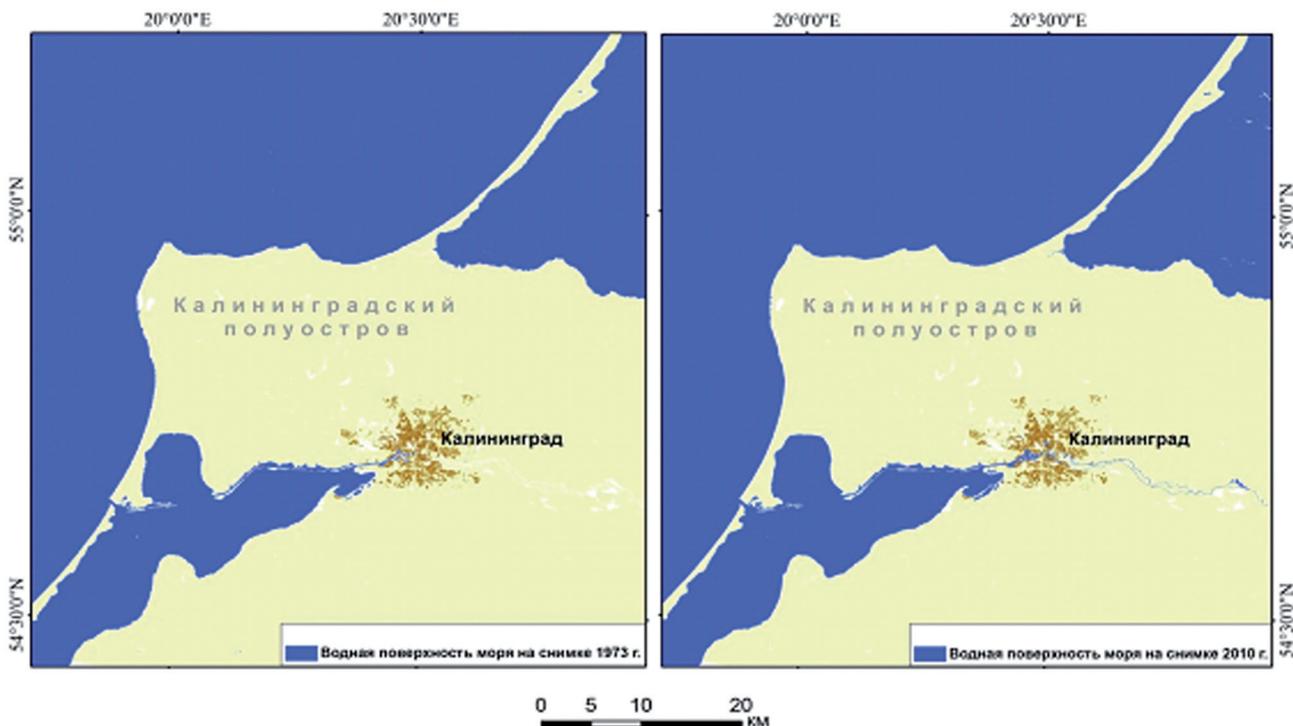


Рис. 3. Результаты классификации водной поверхности моря на снимкахLandsat-2- 1979 г.(а) и на Landsat-5- 2010 г. (б) с использованием алгоритма MinimumEncodingThreshold

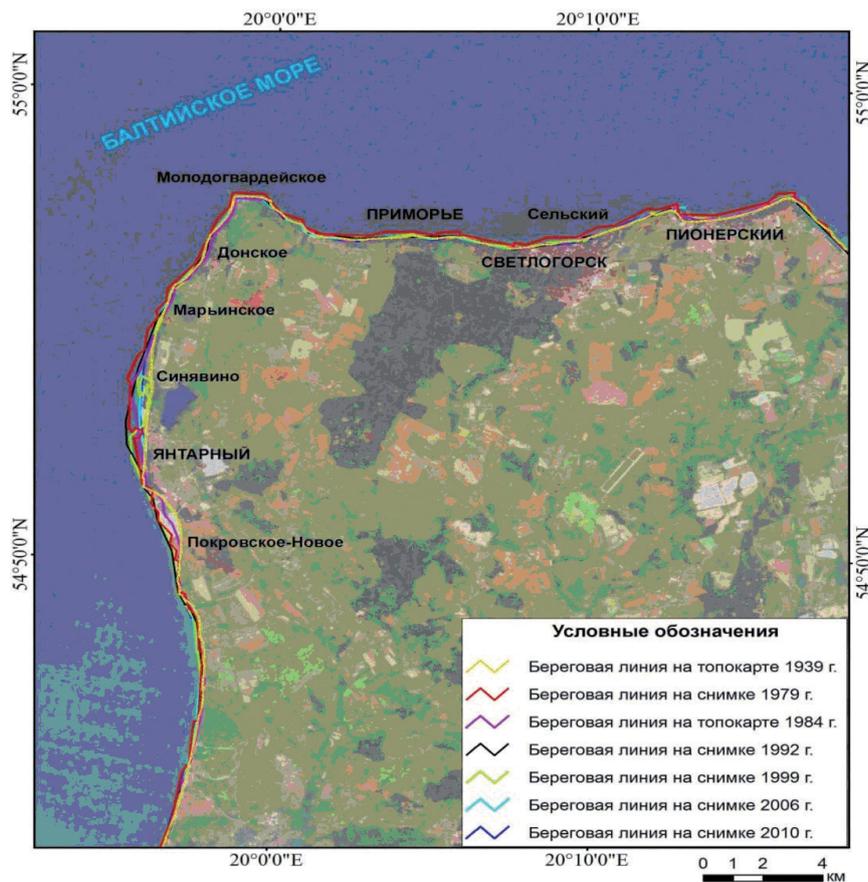


Рис. 4. Фрагмент снимка Landsat (2010 г.) на морскую территорию Калининградской области с нанесенными границами береговых линий за период исследования 1939-2010 гг.

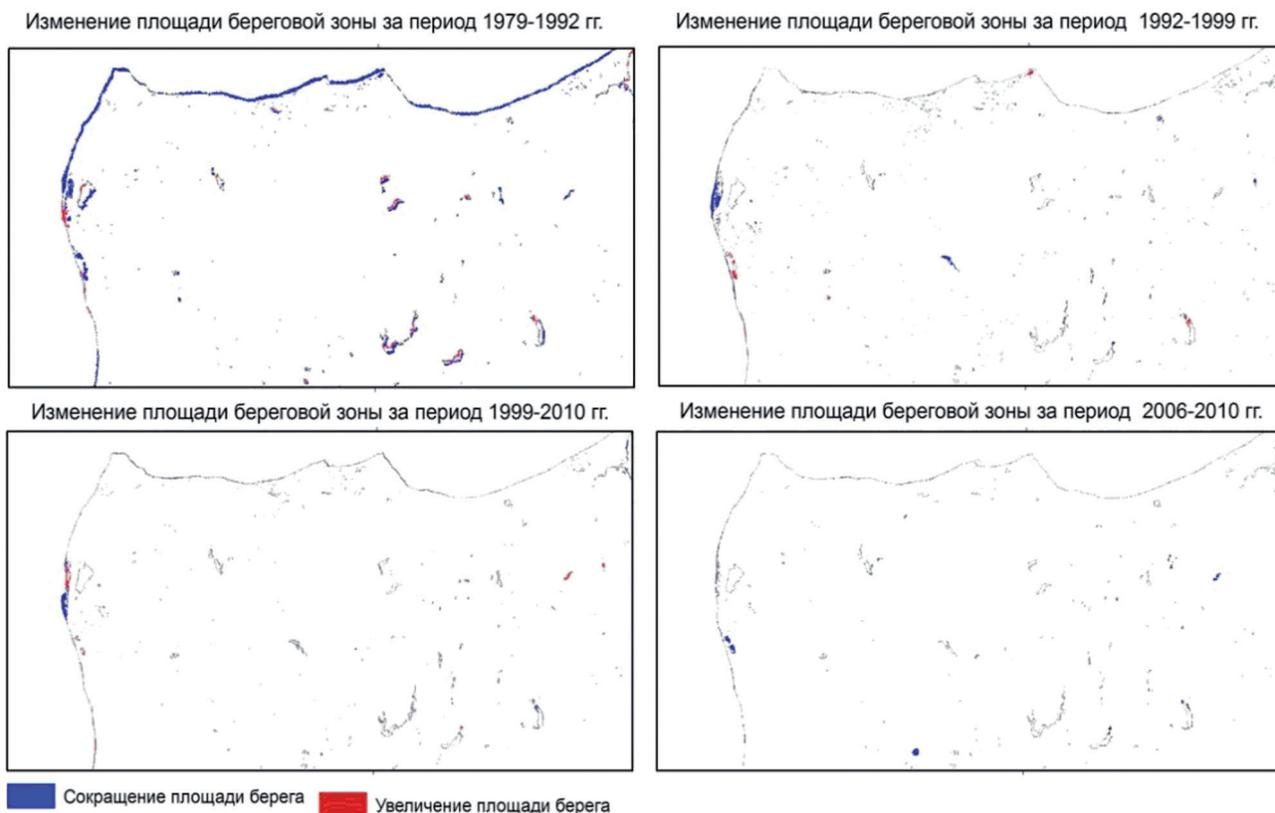


Рис. 5. Карты-схемы изменения площади береговой зоны на снимках Landsat за период исследования по результатам применения алгоритма ChangeDetection

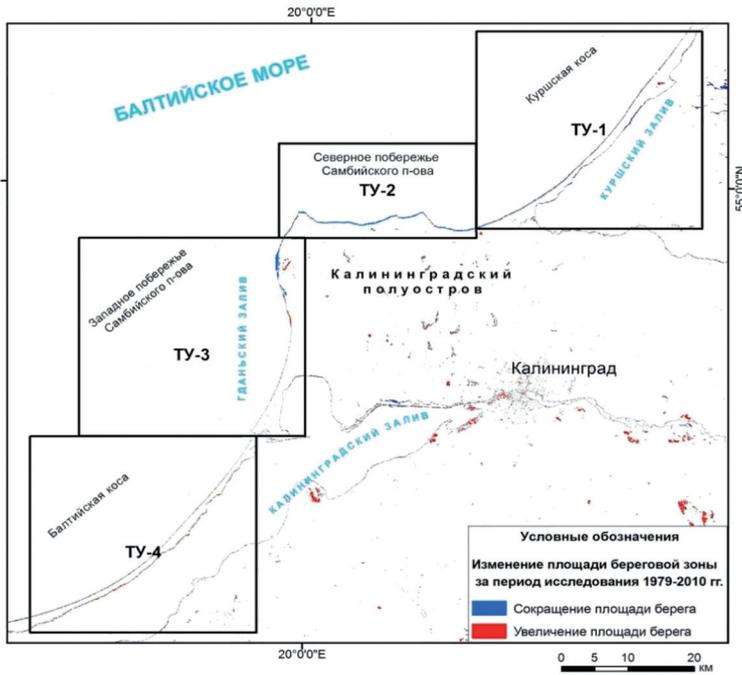
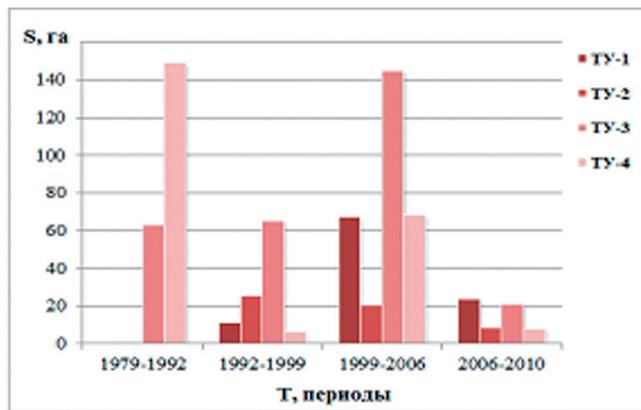


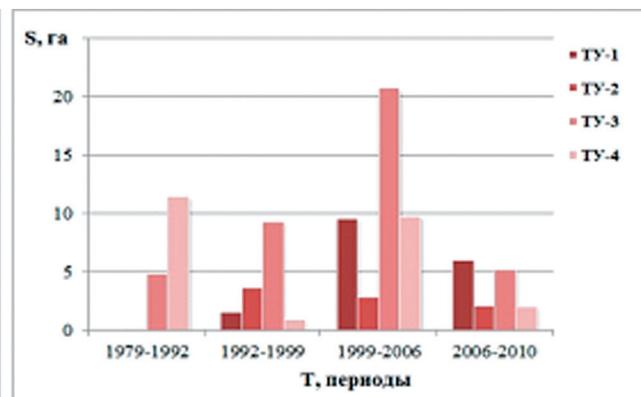
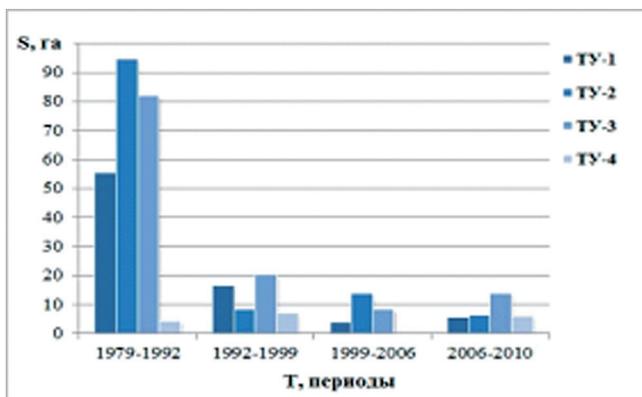
Рис. 6. Карта-схема изменения площади береговой зоны за период исследования 1979-2010 гг. с обозначенными границами тестовых участков



а)

б)

Рис. 7. Изменение суммарной площади береговой зоны на ТУ в периоды исследования по снимкам Landsat. Обозначения: а) диаграмма сокращения суммарной площади береговой зоны; б) диаграмма увеличения суммарной площади береговой зоны



а)

б)

Рис. 8. Изменение площади береговой зоны на ТУ в среднем за год для периодов исследования по снимкам Landsat. Обозначения: а) диаграмма сокращения площади береговой зоны; б) диаграмма увеличения площади береговой зоны

включая Куршскую косу – ТУ-1, – происходил самый интенсивный размыв береговых участков – до 90 м в год на некоторых участках. Так, общая площадь, подверженная размыву береговой зоны, длиной более 21 700 км на ТУ-2 составила около 1229 га, а на ТУ-3 – 1069 га длиной около 21 200 км. Интенсивный размыв этих участков береговой зоны частично можно связывать с частыми и сильными штормами, характерными для этого периода, включая экстремальный шторм в 1983 году с волнением моря до 9-10 баллов, после которого восстановление пляжа, вероятнее всего, происходило медленными темпами. В этот период процессы аккумуляции преобладали над эрозионными процессами только по берегам Балтийской косы – ТУ-4 и частично на ТУ-3. Так, суммарная площадь аккумуляции на ТУ-4 в этот период составила 149 га. Благоприятная тенденция для развития береговой зоны прослеживается в период с 1999 по 2006 гг., когда почти на всех тестовых участках процессы аккумуляции за семь лет практически полностью компенсировали абразионные. При оценке среднегодовых значений изменения площади на участках ТУ-1, ТУ-3 и ТУ-4 наблюдается

ежегодный прирост берега с общей площадью около 300 га. В этот период только на Северном побережье Самбийского полуострова (ТУ-2) преобладает сокращение площади до 14 м/год при аккумуляции 3 м/год. За последние четыре года, в период с 2006 по 2010 гг., на всех ТУ также преобладает сокращение площади – от 5 до 14 м/год над аккумуляцией – от 2 до 6 м/год.

Проведена оценка скорости размыва берегов для двух периодов исследования – с 1939 по 2010 гг. и с 1979 по 2010 гг. с использованием космических снимков Landsat и топографической карты для расчетных точек. Анализ полученных данных на рис. 9 свидетельствует, что скорость размыва берегов изменяется в широких пределах – от 1 до 12 метров в год для отдельных расчетных точек.

Наибольшие скорости размыва для двух периодов исследования характерны для берегов Западного и Северного побережья Самбийского полуострова, и особенно вблизи промышленных районов Синявино и Янтарного. Здесь средние скорости размыва берегов изменяются от 8 до 11 м/год за период 1979-2010 гг. и от 4 до 8 м/год, соответственно, за период 1939-2010 гг.

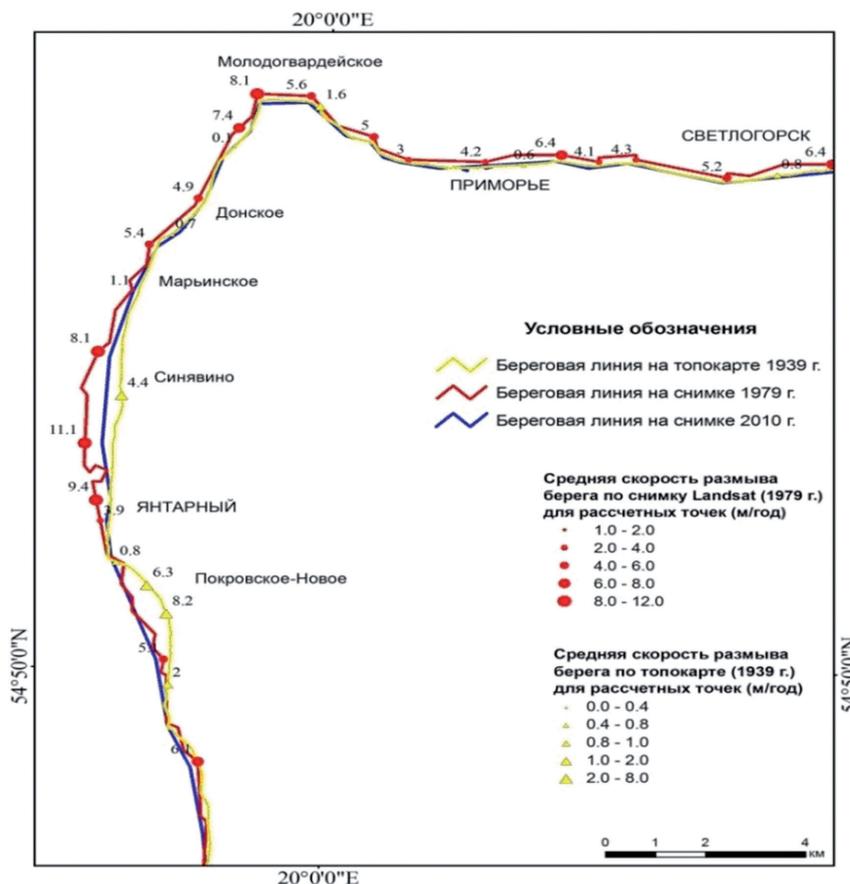


Рис. 9. Изменение скорости абразии (аккумуляции) берега с использованием снимков Landsat и топографической карты для расчетных точек (м/год)

Заключение

В условиях глобального потепления климата наблюдаемое повышение уровня мирового океана, активизация циклонической деятельности приводят к неконтролируемому разрушению берегов, а при современных темпах строительства и освоения новых пляжных территорий техногенная деятельность не обеспечивает сохранение природных территорий. В этих условиях дистанционное исследование береговой линии и оценка динамики площади потерянных территорий приобретают особую актуальность. В настоящей работе на основе использования разновременных космических снимков и современного программного обеспечения проведена количественная оценка изменения площади береговой зоны и исследование современного состояния береговой линии за период исследования 1939-2010 гг. Так, за период исследования современная береговая линия по отношению к 1939 году наибольшие изменения получила на Западном побережье Самбийского полуострова (ТУ-3) и далеко отодвинулась в море в районах Покровское-Новое – на 580 м, в Синявино – почти на 300 м. Изменение береговой зоны на ТУ-3 полуострова может объясняться увеличением сброса пляжного материала из карьера в районе Янтарный. Так, по данным [3], начиная с 1972 года, из карьера вскрышные отложения начали сбрасываться в море, в Покровскую бухту, куда за 25 лет работы карьера поступило более 20 млн м³ грунта. Анализ количественной оценки изменения площади береговой зоны за период исследования 1979-2010 гг. показал, что на всем протяжении береговой зоны преобладание абразионных процессов над аккумулятивными. Суммарная площадь потерь на разных ТУ ежегодно изменяется от 4 до 50 га в год при аккумуляции от 2 до 21 га в год. Соотношение общей площади отступления и прироста берега за период исследования на тестовых участках составило около 1350/380 га. При этом треть (43%) – 585 га разрушенных берегов – приходится на ТУ-2, на ТУ-1 (35%) – 474 га, на ТУ-3 (21%) – 275 га и 1% – 12 га на ТУ-4.

Таким образом, за период исследования (1979-2010 гг.) с использованием космических снимков наблюдается устойчивая тенденция к сокращению пляжных территорий Балтийского моря. Возможно предположить, что с усилением циклонической деятельности в условиях повышения уровня мирового океана ожидается дальнейшее развитие эрозийных процессов и ухудшение состояния морского побережья.

Полученные количественные оценки изменения площади береговой зоны могут быть использованы в прогнозных оценках современного геоэкологического состояния морского побережья

в условиях повышения уровня мирового океана, а также при разработке берегозащитных мероприятий побережья Балтийского моря, Калининградского и Куршского заливов.

Ключевые слова: береговая линия, космические снимки, абразия (аккумуляция) берегов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бойнагрин В.Р. Динамика и морфология Самбийского полуострова // *Окенология*. – 1966. – Т. 6. – Вып. 3. – С. 458-465.
2. Болдырев В.Л., Лашенков В.М., Рябкова О.И. Штормовая переработка берегов Калининградского побережья Балтийского моря // *Вопросы динамики берегов и палеогеографии Балтийского моря*. – Вильнюс, 1990. – С. 97-127.
3. Болдырев В.Л., Рябкова О.И. Динамика береговых процессов на Калининградском побережье Балтийского моря // *Изв. РГО*. – 2001. – Т. 133. – № 5. – С. 41-48.
4. Брыксина Н.А., Полищук В.Ю., Полищук Ю.М. База данных по термокарстовым озерам Западной Сибири на основе космических снимков и возможности ее практического использования // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. – 2011. – Т. 8. – № 3. – С. 175-181.
5. Бурнашов Е.М. Современный комплексный мониторинг состояния берегов Калининградской области / Е.М. Бурнашов, В.В. Щербина // *Комплексное управление, индикаторы развития, пространственное планирование и мониторинг прибрежных регионов Юго-Восточной Балтики*. – Калининград, 2008. – С. 53.
6. Фокина Н.А. Изменение береговой линии по данным снимков космических систем ДЗЗ // *Строительство и техногенная безопасность*. – 2010. – Вып. 33-34. – С. 304-312.
7. Alesheikh A.A., Ghorbanali A., Nouri N. Coastline change detection using remote sensing // *Int. J. Environ. Sci. Tech.* – 2007. – Vol. 4. – № 1. – P. 61-66.
8. El-Asmar H.M. Hereher M.E. Change detection of the coastal zone east of the Nile Delta using remote sensing // *Int. J. Environ. Earth Sci.* – 2010. DOI 10.1007/s12665-010-0564-9.
9. Marfai M.A., Almohammad H., Dey S., Susanto B., King L. Coastal dynamic and shoreline mapping: multi-sources spatial data analysis in Semarang Indonesia // *Environ Monit Assess.* – 2008. – Jul. – 142 (1-3). – P. 297-308.
10. NASA Landsat Program [Electronic resource]. – URL: <http://glcf.umd.edu/data/landsat/> (date of access 20.09.2012).
11. Архив визуальной информации Восточной Пруссии [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.bildarchiv-ostpreussen.de/cgi-bin/bildarchiv/detailsuche/detailsuche.cgi> (дата обращения 05.10.2012).