

Н. А. Брыксина

**ИЗУЧЕНИЕ ДИНАМИКИ БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ
БАЛТИЙСКОГО МОРЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ**

За период с 1979 по 2010 г. проведена оценка изменения суммарной площади береговой зоны на четырех тестовых участках. Показано, что на всем протяжении береговой линии преобладают абразионные процессы над аккумулятивными. Суммарная площадь потерь на тестовых участках ежегодно изменяется от 4 до 50 га в год при аккумуляции от 2 до 21 га в год.

The changes in the total area of the coastal zone were estimated on four test sites in 1979-2010. The author emphasizes the domination of abrasive processes over accumulative ones. The total area of losses ranges from 4 to 50 ha per year against the background of a 2 – 21 ha annual accumulation.

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

Key words: coastline; space image, coast abrasion (accumulation).



Введение

Береговая зона морей и океанов — один 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 береговых границ 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 4–6 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 [1, с. 50]. В результате интенсивных разрушений часть зданий и построек на берегу в городах Зеленоградске, Пионерском, Светлогорске, поселках Отрадное Филино, Рыбное, Донское находятся в опасной зоне. Однако в большинстве случаев нарушение естественного состояния режима морских берегов и, как следствие, изменение береговых границ связывают с техногенными воздействиями. Строительство любых гидротехнических сооружений, добыча строительных материалов и отвал горных пород при добыче полезных ископаемых, функционирование рекреационных зон оказывают определенное влияние на динамику берега и чаще всего негативное. С изменением технологии янтарного производства на Балтийском побережье современная динамика морского берега в значительной степени зависит от сбросов в прибрежную зону рыхлого материала из карьеров Янтарного комбината [2, с. 75]. Для разработки мероприятий по контролю береговых процессов и принятия управленческих решений с целью сохранения и геоэкологической защиты пляжных территорий требуется проведение исследования изменения береговой зоны.

Традиционные методы топографической съемки не в состоянии оперативно отобразить информацию изменчивости береговых границ и во многом уступают современным дистанционным методам. Большая протяженность береговой линии Балтийского моря обуславливает особую важность применения дистанционных методов и географических информационных систем для изучения береговых процессов. В основном в дистанционных исследованиях береговой зоны используются космические снимки. К аэрофотосъемке и лазерному сканированию из-за их высокой стоимости прибегают в единичных случаях при детальных исследованиях береговых и подводных процессов. Преимущество применения 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. Кроме того, в последние годы



благодаря прогрессу в развитии информационно-космических технологий существенно возросло пространственное разрешение КС, что создает возможность детально изучать изменения береговых процессов. Снимки с высоким пространственным разрешением (0,5–0,8 м) можно получать со спутников Иконос (Ikonos) с 1999 г., Квикбёрд (QuickBird) – с 2001 г., Ворлдвью (WorldView) –1 – с 2007 г. и т.д. Небольшой архив снимков высокого разрешения по временному охвату, а также высокая стоимость не позволяют их использовать в изучении многолетней динамики береговых границ. По этой причине в дистанционных исследованиях преимущественно обращаются к снимкам со спутников Ландсат (Landsat) с более чем 35-летним архивом данных.

Дистанционное исследование береговой зоны, как правило, ограничивается качественным анализом изменения состояния, а количественных оценок недостаточно, что определило актуальность настоящей работы, направленной на получение количественных оценок динамики береговой линии (площади, скорости абразии/аккумуляции берегов) и разработку методики их изучения на основе данных дистанционного зондирования.

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. С морем их соединяют проливы шириной 300–400 м. Общая протяженность морского берега составляет 146 км. На коренные берега Самбийского п-ова приходится 74 км, на северную часть Вислинской косы – 25 км и на южную часть Куршской косы – 49 км.

Берега, сложенные рыхлыми песчаными и глинистыми чередующимися прослоями, ранее и сейчас формируются под воздействием штормовых волн, прибрежных течений и ветра. В результате этого образовались две их разновидности: абразионные и аккумулятивные. Абразионные берега составляют 35 % от всей протяженности морского побережья и в основном приурочены к коренным берегам Самбийского п-ова, прикорневой части Куршской косы и другим возвышенным участкам [3, с. 77]. Наиболее интенсивно разрушаются борта бухт от пос. Филино до г. Светлогорска, южнее м. Гвардейский и на западной окраине г. Зеленоградска. Отмечается тенденция к усилению размыва берегов на Куршской косе, особенно на южном участке, где накопления наносного материала в настоящее время не происходит.

Методика и данные

Для исследования динамики площади береговой зоны использовались топоосновы различных масштабов и данные со спутников Ландсат за период с 1979 по 2010 г. Для анализа выбирались снимки, полученные в летний период, когда конфигурация береговой линии относительно постоянна. Всего для исследования за период 1979–2010 гг. было отобрано пять безоблачных снимков Ландсат (табл.).



Анализируемые космические снимки и картографические материалы

| Аналитический материал | Дата съемки, гг. |
|------------------------|------------------|
| Топокарта (1:25 000) | 1939 |
| Топокарта (1:100 000) | 1984 |
| Ландсат-2 (MSS) | 18.08.1979 |
| Ландсат-5 (MSS) | 17.06.1992 |
| Ландсат-7 (ETM) | 31.07.1999 |
| Ландсат-5 (TM) | 10.07.2006 |
| Ландсат-5 (TM) | 21.07.2010 |

Космический аппарат Ландсат-2 оснащён сканирующей системой MSS (*Multispectral Scanner*), зондирующий в четырех спектральных (в видимом и ближнем) инфракрасных каналах. Пространственное разрешение в каждом из них составляет около 60x80 м. Снимки получены сканером TM (*Thematic Mapper*), формирующим изображения в семи 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 Ландсат-7 применена мультиспектральная камера ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*), позволяющая принимать информацию в восьми 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 Ландсат из общедоступного архива *Global Land Cover Facility* [4] относятся к уровню обработки 1T, включающему радиометрическую и геометрическую коррекцию с использованием цифровых моделей рельефа. Немецкие топографические карты территории бывшего Кёнигсберга, ныне Калининграда, в масштабах 1:25 000 и 1:100 000 предоставлены архивом картографических данных на Восточную Пруссию [5].

Коллекция снимков Ландсат 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 четырех- и пятиспектральные каналы снимков Ландсат (инфракрасный диапазон), в которых наблюдаются наиболее существенные отличия в яркости снимка водной поверхности от других типов подстилающей поверхности [6, с. 8]. Обработка и анализ изображений производились при помощи программных комплексов *ENVI 4.7* и *ArcGIS 9.3*. На рисунке 1 дана схема последовательных этапов обработки космических снимков.

Классификация водной поверхности моря на снимках Ландсат проводилась способом двоичного кодирования (алгоритм *Binary encoding classification*) в программном обеспечении *ENVI 4.7*. Для реализации алгоритма *Binary encoding classification* устанавливались следующие параметры:

- 1) *Select Classes from Regions* — список областей интереса;
- 2) *Minimum Encoding Threshold* — минимальный порог кодирования, который задается для разграничения классов.



Рис. 1. Схема последовательности этапов исследования динамики береговой зоны

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

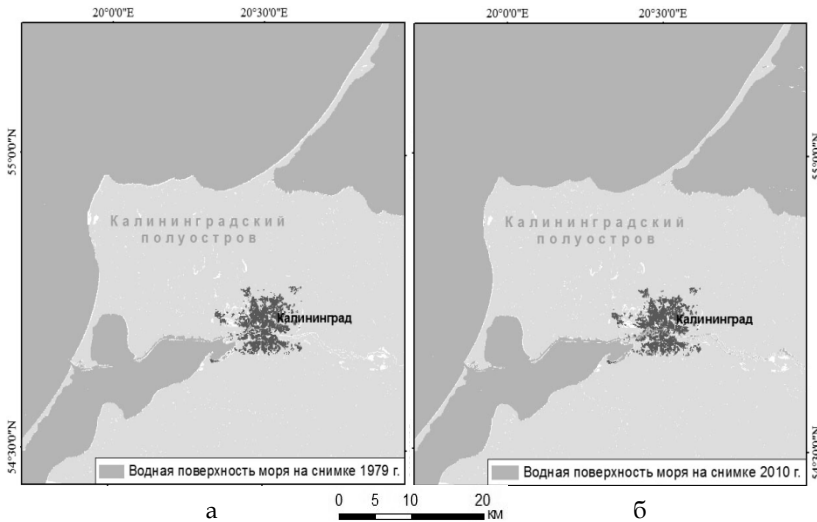


Рис. 2. Результаты классификации водной поверхности моря на снимках Ландсат-2 – 1979 г. (*а*) и на Ландсат-5 – 2010 г. (*б*) с использованием алгоритма *Minimum Encoding Threshold*

Для количественной оценки изменения площади береговой зоны за период исследования применялся алгоритм *Change Detection* к тематическим изображениям, предварительно полученным на этапе «Контро-



лируемая 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 производилась 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 расчётных точек были вычислены скорости размыва (аккумуляции) берегов.

Результаты исследования и их обсуждение

На рисунке 3 показана динамика береговой линии с использованием топографических карт и космических снимков начиная с 1939 г.

Как видно из рисунка 3 на всем протяжении морской береговой линии в разные годы наблюдается изменение конфигурации, особенно резко отличающееся в 1939 г. от современного положения (2010 г.) вблизи районов Покровское-Новое, Янтарный, Синявино. Количественная оценка изменения площади береговой зоны проводилась на основе использования разновременных снимков Ландсат за период 1979–2010 гг. Предварительно к отклассифицированным снимкам Ландсат применялся алгоритм *Change Detection*. Зона исследования условно была разделена на четыре тестовых участка, далее ТУ (рис. 4).

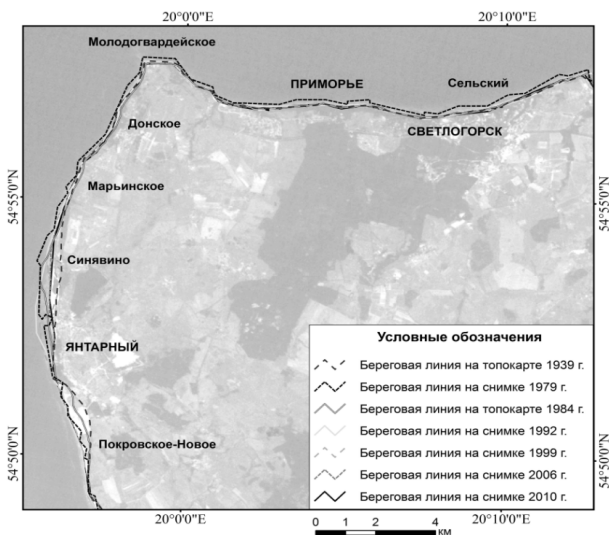


Рис. 3. Фрагмент снимка Ландсат (2010 г.) с нанесенными границами береговых линий

На рисунках 5 и 6 показаны диаграммы изменения суммарной площади береговой зоны за периоды исследования и в среднем за год на тестовых участках.

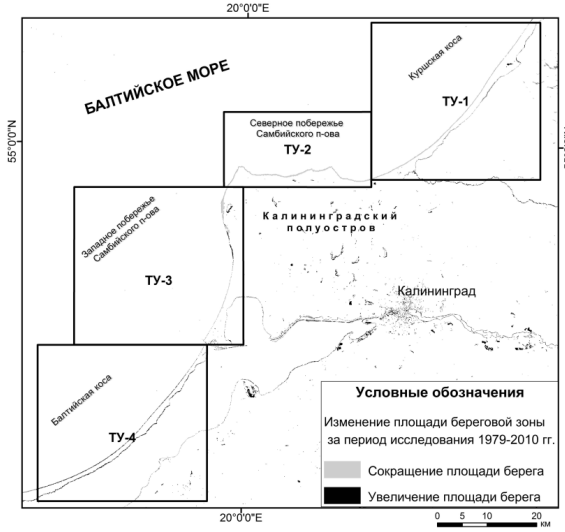
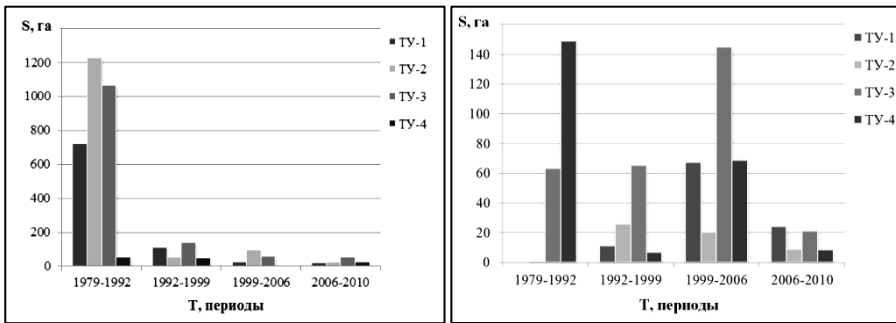


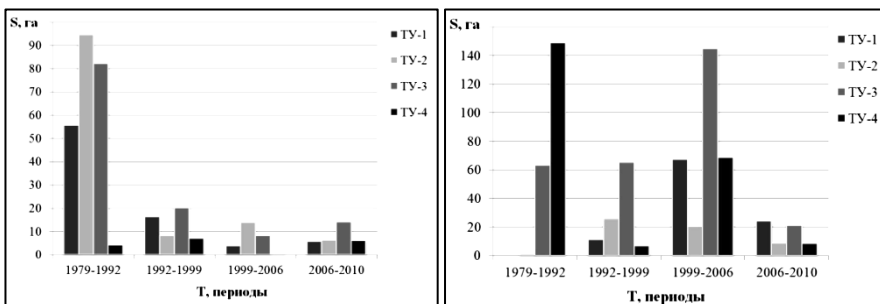
Рис. 4. Карта-схема изменения площади береговой зоны за период исследования 1979 – 2010 гг. с обозначенными границами тестовых участков



a

б

Рис. 5. Изменение суммарной площади береговой зоны на ТУ за периоды исследования:
a – диаграмма сокращения суммарной площади береговой зоны;
б – диаграмма увеличения суммарной площади береговой зоны



a

б

Рис. 6. Изменение площади береговой зоны в среднем за год на ТУ за периоды исследования:

a – диаграмма сокращения площади береговой зоны;
б – диаграмма увеличения площади береговой зоны



Анализ диаграмм на рисунках 5 и 6 показывает, что в период исследований с 1979 по 1992 г. на всем побережье Самбийского п-ова (ТУ-2, ТУ-3), включая Куршскую косу (ТУ-1), происходил самый интенсивный размыв береговых зон — 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 на протяжении 21 200 км. Интенсивный размыв этих участков береговой зоны частично можно связывать с частыми и сильными штормами, характерными для указанного периода, включая экстремальный шторм в 1983 г.; с волнением моря до 9–10 баллов, после которого восстановление пляжа, вероятно, происходило медленными темпами. В этот период процессы аккумуляции преобладали над эрозионными только по берегам Балтийской косы и, на ТУ-4 и частично на ТУ-3. Так, суммарная площадь аккумуляции на ТУ-4 в эти годы была равна 149 га.

Благоприятная тенденция для развития береговой зоны прослеживается с 1999 по 2006 г., когда почти на всех тестовых участках процессы аккумуляции за семь лет практически полностью компенсировали абразионные. При оценке среднегодовых значений изменения площади на 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 п-ова (ТУ-2) доминирует сокращение площади до 14 м/год при аккумуляции 3 м/год. С 2006 по 2010 г. на всех ТУ отмечается сокращение площади берега от 5 до 14 м/год при аккумуляции — от 2 до 6 м/год.

Проведена оценка изменения скорости абразии (аккумуляции) берегов для расчётных точек за периоды: с 1939 по 2010 г. и с 1979 по 2010 г. на основе использования топографической карты и разновременных космических снимков Ландсат.

Как видно из рисунка 7, на всем протяжении береговой линии в 1939 г. по отношению к современному положению преобладала сильнейшая эрозия берегов, особенно вблизи промышленных районов Синявино, Янтарного и Покровского-Нового. Однако начиная с 1960-х гг. с изменением технологии добычи янтаря значительно вырос сброс вскрышных пород в море, что повлекло за собой увеличение площади береговой зоны на западном побережье Самбийского п-ова со средней скоростью от 4 до 8 м/год для отдельных расчетных точек.

С 1979 г. по берегам промышленных районов Синявино и Янтарного, как показано на рисунке 7, наблюдается резкое повышение размыва территорий со средней скоростью от 8 до 11 м/год, что может объясняться уменьшением объема поступления вскрышных пород в береговую зону начиная с 1990-х гг.

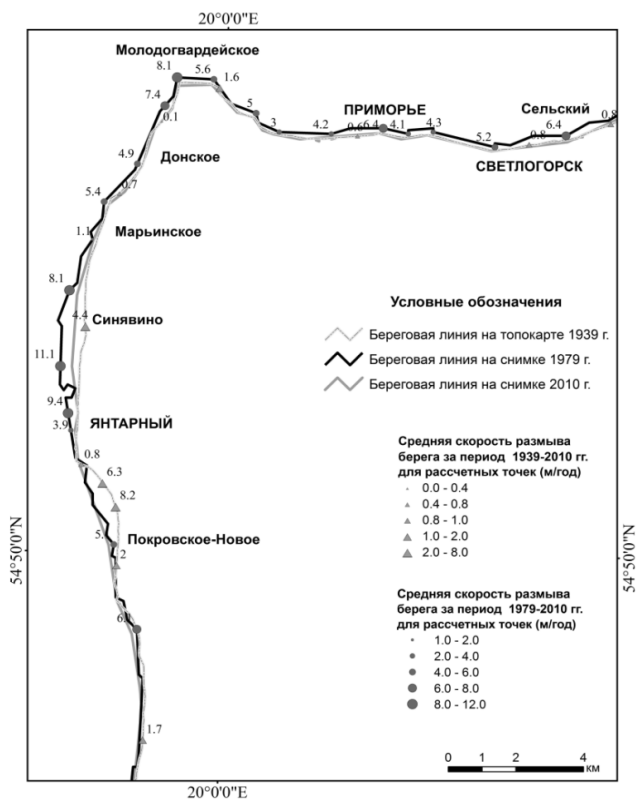


Рис. 7. Изменение скорости абразии (аккумуляции) берега с использованием снимков Ландсат и топографической карты для расчётных точек (м/год)

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 приобретает особую актуальность. В настоящей работе на основе использования разновременных космических снимков и современного программного обеспечения представлены количественная оценка изменения площади береговой зоны и исследование современного состояния береговой линии за период 1939–2010 гг. Так, за время исследования современная береговая линия по отношению к 1939 г. получила наибольшие изменения на западном побережье Самбийского п-ова (ТУ-3) и далеко отодвинулась в море, например в районах Покровское-Новое – на 580 м, в Синявино – почти на 300 м. Рост площади береговой зоны на ТУ-3 может объясняться увеличением сброса пляжного материала из карьера в районе пос. Янтарный. Согласно данным [3, с. 78], начиная с 1960-х годов вскрышные отложения из карьера начали сбрасываться в море, в Покровскую бухту, куда за 25 лет работы карьера посту-



пило 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 наблюдается преобладание абразионных процессов над аккумулятивными. Суммарная площадь потерь на разных ТУ ежегодно варьируется от 4 до 50 га в год при аккумуляции от 2 до 21 га в год. Соотношение общей площади сокращения и увеличения береговой зоны за период исследования на тестовых участках составило около 1350/380 га. При этом 585 га (43 %) разрушенных берегов приходится на ТУ-2, 474 га (35 %) – на ТУ-1, 275 га (21 %) – на ТУ-3 и 12 га (1 %) – на ТУ-4.

Таким образом, за период исследования (1979–2010 гг.) использование космических снимков позволило наблюдать устойчивую тенденцию к сокращению пляжных территорий Балтийского моря. Можно предположить, что с усилением циклонической деятельности в условиях повышения уровня Мирового океана ожидается дальнейшее развитие эрозионных процессов и ухудшение состояния морского побережья.

Полученные количественные оценки изменения площади береговой зоны могут быть применены 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.

Список литературы

1. *Рякова О.И.* Природопользование и задачи берегозащиты на Калининградском морском побережье // Физическая география океана и океаническое природопользование на пороге 21 века : сб. науч. тр. Калининград, 2000. С. 49–63.
2. *Басс О.В., Жиндарев Л.А.* Оценка воздействия техногенных факторов на литодинамические процессы береговой зоны : материалы XXI междунар. береговой конф. Калининград, 2004. С. 74–77.
3. *Болдырев В.Л., Бобыкина В.П., Бурнашов Е.М.* Результаты и дальнейшие перспективы мониторинга берегов Куршской косы // Проблемы изучения и охраны природного и культурного наследия национального парка «Куршская коса». 2007. Вып. 5. С. 76–93.
4. *Глобальный архив спутниковых данных Земли.* URL: <http://glcf.umd.edu/> (дата обращения: 21.02.2013).
5. *Архив картографических данных на Восточную Пруссию.* URL: <http://www.bildarchiv-ostpreussen.de> (дата обращения: 10.11.2012).
6. *Брыксина Н.А.* Научно-методические основы применения данных дистанционного зондирования при исследовании динамики термокарстовых озерных ландшафтов Западно-Сибирской равнины : автореф. дис. ...канд. геогр. наук. Томск, 2011.

Об авторе

Брыксина Наталья Анатольевна – канд. геогр. наук, ст. науч. сотр., Балтийский федеральный университет им. И. Канта.
E-mail: NBryksina@kantiana.ru

About the author

Dr Natalya Bryksina, Senior Research Fellow, I. Kant Baltic Federal University, Kaliningrad.
E-mail: NBryksina@kantiana.ru