

УДК 528.856

Михаил Грищенко, к. геогр. н., научный сотрудник^{1, 2}

e-mail: m.gri@geogr.msu.ru

Ангелина Гнеденко, магистрантка 1 года обучения¹

e-mail: gnedenko.a.e@mail.ru

¹ МГУ им. М.В. Ломоносова, географический факультет² Государственный природный заповедник «Курильский»

ДЕШИФРИРОВАНИЕ И КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ ЮЖНОЙ ЧАСТИ ОСТРОВА КУНАШИР ПО КОСМИЧЕСКИМ СНИМКАМ ОЧЕНЬ ВЫСОКОГО И СВЕРХВЫСОКОГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ

Космические снимки очень высокого и сверхвысокого пространственного разрешения достаточно давно используются в различных географических исследованиях. В нашей работе проведено дешифрирование изменения положения береговой линии по разновременным снимкам с учетом влияния приливно-отливных колебаний. Использованы снимки со спутников серии KeyHole и со спутника WorldView-2. Влияние приливов на отображение положения береговой линии на снимках устранялось посредством введения поправки на отклонение уровня воды от среднего многолетнего. В результате была составлена карта, на которой выделены активно изменяющиеся участки берега. Выявлено, что на изучаемой территории прирост берега составляет около 5 м в год.

Ключевые слова: географическое дешифрирование, космические снимки сверхвысокого пространственного разрешения, береговая линия, Кунашир, Южные Курилы.

Михайло Грищенко, Ангеліна Гнеденко

ДЕШИФРУВАННЯ ТА КАРТОГРАФУВАННЯ ЗМІНИ ПОЛОЖЕННЯ БЕРЕГОВОЇ ЛІНІЇ ПІВДЕННОЇ ЧАСТИНИ ОСТРОВА КУНАШИР ЗА КОСМІЧНИМИ ЗНІМКАМИ ДУЖЕ ВИСОКОЇ ТА НАДВИСОКОЇ РОЗДІЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ

Космічні знімки дуже високої та надвисокої роздільної здатності досить давно використовуються у різноманітних географічних дослідженнях. В нашій роботі проведено дешифрування зміни положення берегової лінії за різночасовими знімками з урахуванням впливу приливно-відливних коливань. Використані знімки з супутників серії KeyHole та супутника WorldView-2. Вплив приливів на відображення положення берегової лінії на знімках усувався за допомогою введення поправки на відхилення рівня води від середнього багаторічного. В результаті було складено карту, на якій виділено ділянки берега, що активно змінюються. Виявлено, що на досліджуваній території приріст берега становить близько 5 м на рік.

Ключові слова: географічне дешифрування, космічні знімки надвисокої просторової роздільної здатності, берегова лінія, Кунашир, Південні Курили.

Mikhail Grishchenko, Angelina Gnedenko

REVEALING AND MAPPING THE SOUTHERN PART OF THE KUNASHIR ISLAND COASTLINE CHANGES USING SPACE IMAGES OF VERY HIGH SPATIAL RESOLUTION

In the paper the authors carry out the changes of the coastline position by interpretation of the multi-temporal images taking into account the influence of tidal fluctuations. Images from satellites KeyHole and satellite WorldView-2 were used. Keyhole images were acquired from 1964 to 1975; WorldView-2 image was acquired in 2013. Thus, the study period was 48 years. Georeferencing for KeyHole images was made using WorldView-2 image. The impact of tides on the displaying position of the coastline on the satellite images was eliminated by the introduction of a correction for the deviation of the water level from the long-term average one. The result is a map that represents the areas of the coast that are actively changing. Veslovsky peninsula changes are stable, a constant coast increase in its southern part can clearly be seen. Increases for the year can vary in different parts of the coast, gain values are from 3 to 8 m. Cape Paltusov has a complex shape, it represents three alternating sand bars that have a common base and southwest-northeast direction. Increase of the youngest bar began in between 1968 and 1975. During the period from 1960 to 2013, the increase of the shoreline of the study area was about 350 m. It has been revealed that the study area is increasing for about 5 meters per year.

Keywords: geographical images interpretation, space images of the very high spatial resolution, coastline, Kunashir island, Southern Kurils.

Вступлення. Формирование береговой линии является сложным и разнообразным процессом. Его развитие определяют такие

факторы, как: характер течений, преобладающих ветров, наличие источников материала для намыва, характер антропогенной

деятельности. Для изучения изменчивости береговой линии используются как полевые данные, так и полученные путём дистанционного зондирования — т. е. аэро- и космические (аэрокосмические) снимки. Применение дистанционных данных особенно удобно тем, что процессы формирования берегов зачастую охватывают довольно большие по площади территории, которые могут быть запечатлены на одном снимке; кроме того, береговая линия является объектом, хорошо распознающимся практически на любых снимках.

Исходные предпосылки. Южная часть острова Кунашир (Южные Курильские острова) выбрана для изучения изменения положения береговой линии в связи с расположением на этой территории двух крупных аккумулятивных форм — мыса Палтусов (в западной части исследуемой территории) и полуострова Весловский (в восточной части исследуемой территории); последний является крупнейшей аккумулятивной формой на Курильских островах. Формирование этих объектов началось около 2000 лет назад и продолжается в настоящее время; оно связано с переотложением материалов обрывистых береговых уступов, расположенных севернее. Так, при постепенном размыве Головинского клифа, расположенного к северу от полуострова Весловский и сложенного преимущественно рыхлыми песчаными породами, в воды Тихого океана поступает большое количество материала, впоследствии аккумулирующегося в южной части полуострова.

Изучение изменения береговой линии часто производится с использованием снимков высокого (десятки метров) пространственного разрешения. Это объясняется не только тем, что они имеют больший пространственный охват и по большей части находятся в открытом доступе, но и большим временным охватом фонда этих снимков. Однако в некоторых случаях их детальности оказывается недостаточно. Использование снимков очень высокого (метры) и сверхвысокого (десятки сантиметров) пространственного разрешения в нашей работе обусловлено высокими темпами изменения положения берега и необходимостью установить значения прироста аккумулятивных форм. Спутниковые снимки сверхвысокого пространственного разрешения стали открыты для широкого круга пользователей относительно недавно, ранее они использовались практически исключительно

в военной отрасли. Впоследствии некоторые из архивов были рассекречены в рамках программ конверсии и стали доступны в качестве материалов для научных исследований [1]. К ним относятся снимки со спутников серии KeyHole, которые и стали основным материалом для дешифрирования береговой линии в настоящей работе.

Предварительно проведено сравнение аэроснимков 1960-х гг. на территорию полуострова Весловского с современными космическими снимками. Выявлено, что прирост этой формы составляет около нескольких метров в год.

Цель исследования — выявить изменчивость береговой линии южной части острова Кунашир и представить результат исследования в картографической форме, а также установить значение прироста береговой линии за весь исследуемый период и за отдельный год.

Изложение основного материала.

Материалы и методы. Для выявления изменчивости береговой линии в настоящей работе использованы снимки, полученные спутниками серии KeyHole и WorldView-2. Снимок со спутника WorldView-2 зарегистрирован 30.06.2013 г., пространственное разрешение в панхроматическом канале составляет 0,46 м, в спектрозональных — 1,84 м [2]. Снимки со спутников серии KeyHole получены 20.12.1964 г., 30.04.1965 г., 20.12.1968 г. и 25.12.1975 г., пространственное разрешение составляет около 1–2 метров [1], снимки фотографические, получены из архивов службы United States Geological Survey.

В нашей работе применено визуальное дешифрирование береговой линии с отрисовкой контура берега вручную, поскольку оно лучше всего подходит для снимков представленного пространственного разрешения. Изображение на таких снимках весьма детальное, что приводит к возникновению большого количества неверно классифицированных пикселей при автоматизированной обработке. В результате на корректировку получившегося изображения может уйти гораздо больше времени, чем на визуальное дешифрирование. Ограничения на применение автоматизированного дешифрирования накладывает и использование фотографических снимков (KeyHole). Особенностью всех фотографических материалов является их зернистость, которая возникает из-за использования фотоэмульсии.

При подготовке снимков к работе проведено их приведение к общей системе координат и проекции. Системой координат используемого снимка со спутника WorldView-2 является WGS-84, система координат снимков со спутников серии KeyHole неизвестна. Была осуществлена привязка снимков со спутников серии KeyHole к снимку со спутника WorldView-2. Стандартный кадр снимка со спутника KeyHole имеет вытянутую форму, по длине он намного больше, чем по ширине. Плёнка помещалась на барабан и проворачивалась по мере прохождения спутника над снимаемой территорией [1]. В результате искажения в разных частях кадра сильно различаются. Поэтому для этих снимков применены полиномиальные преобразования.

Временной интервал снимков составляет 48 лет, что позволяет проследить изменчивость береговой линии за этот период, а наличие снимков с интервалом в один год позволяет оценить её средние значения за год. Однако на положение береговой линии оказывает влияние приливо-отливная деятельность, так как в зависимости от высоты прилива положение береговой линии на снимке может изменяться в пределах нескольких метров, что может исказить результат дешифрирования береговой линии. В целом уровень прилива для данной территории колеблется в пределах одного метра [3].

Для того чтобы определить уровень моря на каждом снимке, необходимо знать время съёмки для каждого из них; такая информация для снимков со спутников серии KeyHole отсутствует. Определить время съёмки с точностью 2–3 ч. позволяет положение и форма теней объектов на снимках — они довольно короткие и направлены на север, что позволяет сделать вывод, что снимки сделаны в околополуденное время.

Информация о приливах практически за весь интересующий нас промежуток времени находится в открытом доступе [4]. По данным об уровне прилива можно определить, какие снимки были сделаны во время положения моря на среднем уровне и насколько сильно может быть изменено отображение положения береговой линии на других снимках.

Результаты и их анализ. Итогом работы является карта изменения положения береговой линии южной части острова Кунашир (рис. 1).

На представленной карте заметно, что наибольшие изменения происходят на южной оконечности полуострова Весловский (мыс Весло), а также на мысе Палтусов. Характер изменения этих аккумулятивных форм отличается друг от друга, хотя выделяется направление их продвижения вглубь пролива Измены.

Изменения полуострова Весловский носят стабильный характер, четко прослеживается постоянный прирост берега в его южной части. Прирост за год может варьировать на различных участках берега, разброс значений достигает от 3 до 8 м. В среднем в год он составляет 5 м. Всего за период с 1960 г. по 2013 г. прирост береговой линии составил около 350 м. Стоит отметить, что, несмотря на быстрое изменение, форма оконечности полуострова в целом сохраняется. Особенно это заметно по характерной «сплюснутой с юга» форме мыса Весло и его небольшому изгибу на юго-запад. Наибольшим изменениям подверглись самая южная часть Весловского, а также прилегающая к нему часть юго-восточного побережья.

Такое постоянство в приросте берега, а также в сохранении очертаний, может объясняться постоянством направления течения на данном участке [5]. Помимо течения на формирование полуострова оказывает влияние и морское волнение. Волны могут способствовать перемещению пород, слагающих полуостров Весловский [6]. Мыс Весло сложен самыми молодыми песчаными отложениями, которые легко приводятся в движение прибоем [5]. С учетом сильного зимнего прибоя и западной и юго-западной направленностью ветра [3] можно предположить, что волнение моря также участвует в формировании полуострова, хотя и не в такой большой степени, как прибрежное течение.

В северной части полуострова Весловский сохранились следы ранних этапов образования этой аккумулятивной формы. Они выражены в виде чередующихся вытянутых валов и впадин, заполненных водой. Заметна разница между ландшафтом, характерным для южной части Кунашира, и территории, прилегающей к Весловскому.

Другой участок берега, подвергшийся значительным изменениям за исследуемый период — мыс Палтусов. На карте видно, что изменения за разные годы значительно отличаются друг от друга. Мыс имеет сложную форму, он представляет собой три чередующихся песчаные косы, имеющих общее основание

Изменение береговой линии в южной части острова Кунашир

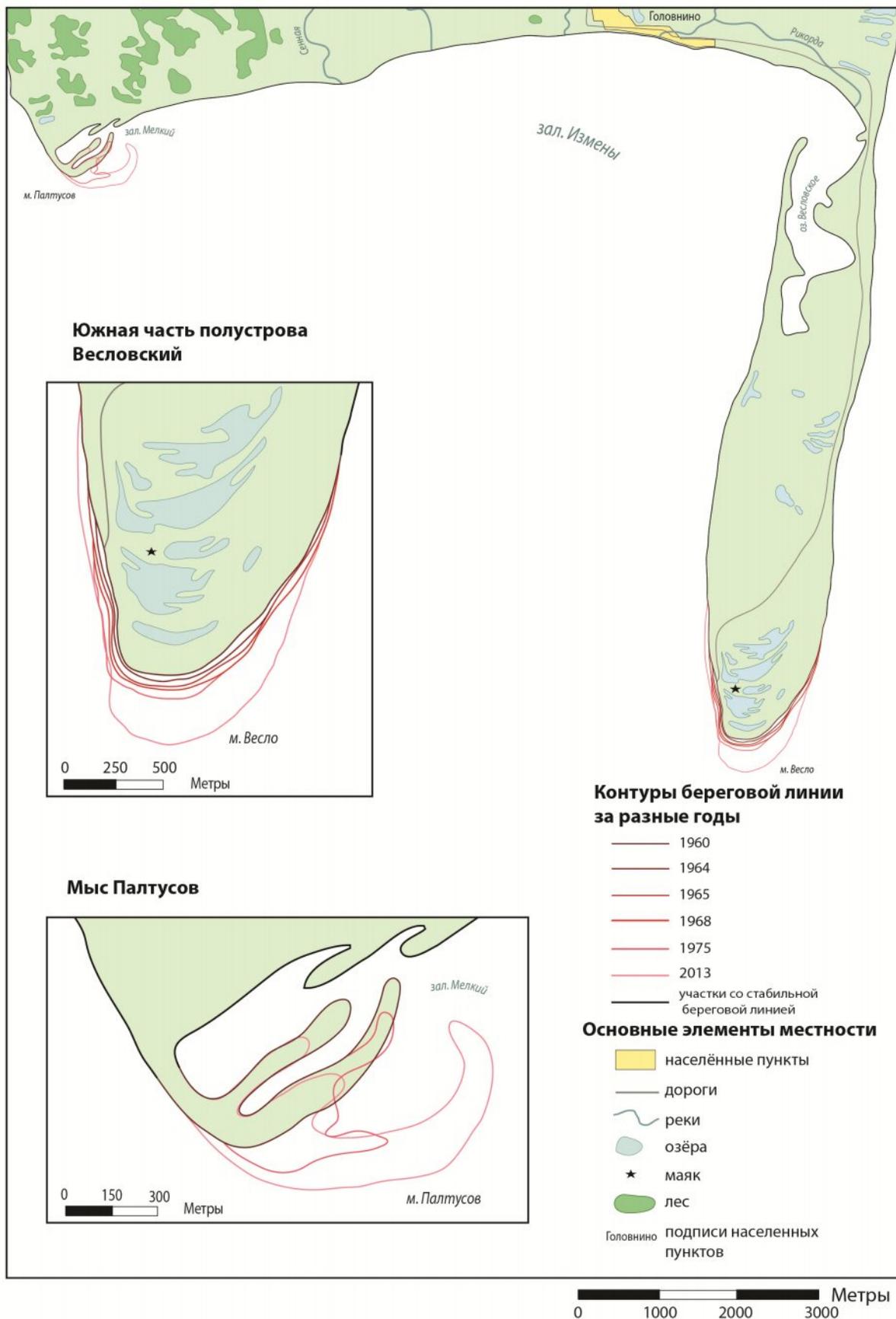


Рис. 1. Изменения береговой линии южной части острова Кунашир за период 1960-2013 гг.

и направленность юго-запад — северо-восток. Можно заметить, что прирост третьей косы начался в период между 1968 г. и 1975 г., поскольку в 1968 г. она не обнаружена. На снимке 1975 г. заметно, что на оконечности мыса развивается аккумулятивная форма, но по размеру она не превышает две предыдущих. В 2013 г. она существенно больше в размере, имеет выраженную закругленную форму, загибается в сторону побережья.

Выводы.

1. Наиболее активно изменяющимися аккумулятивными формами в южной части острова Кунашир являются мыс Палтусов и полуостров Весловский. В наибольшей степени прирост берега направлен вглубь пролива Измены, при этом особенно сильно это происходит в южной части полуострова Весловский (мыс Весло). Значения прироста берега в год здесь составляют порядка 5 м, а за период в 53 года он составляет 350 м.

2. Форма и направленность развития аккумулятивных форм может служить источником информации о характере наиболее стабильных прибрежных течений, поскольку именно они служат переносчиками аккумулялирующихся материалов.

Благодарности. Авторы выражают благодарность за предоставленные материалы сотрудникам Института морской геологии и геофизики ДВО РАН (г. Южно-Сахалинск): заведующему лабораторией вулканологии и вулканопасности А. В. Рыбину и заведующему лабораторией цунами Г. В. Шевченко; за ценные советы при обсуждении работы — доценту кафедры картографии и геоинформатики географического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова А. И. Прасоловой.

Рецензент: кандидат географических наук, доцент, А.И. Прасолова

Список литературы:

1. Time mislead [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://timemislead.com/kosmonavtika/> (дата звернения: 17.11.2015) – Назва з екрану.
2. Спутники QuickBird, WorldView-1, WorldView-2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.WorldView.ru> (дата звернения: 25.11.2015) – Назва з екрану.
3. Лоция Охотского моря. Книга №1406. Вып. 1. Южная часть моря. – М.: ГУНиО МО, 1984. – 57 с.
4. Кунаширский портал [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://esimo.oceanography.ru> (дата звернения: 19.12.2015) – Назва з екрана.
5. Зенкович, В. П. Морской берег / В. П. Зенкович. – М. : Гостехиздат, 1952. – 74 с.
6. Tiepolt L., Schumacher W. Historische bis rezente Küstenveränderungen Raum Fischland-Darß-Zingst-Hiddensee anhand von Karten, Luft- und Satellitenbildern // Die Küste, 1999. – No. 61. – S. 29-54.

References:

1. Time mislead. Available at: <http://timemislead.com/kosmonavtika>.
2. Sputniki QuickBird, WorldView-1, WorldView-2 [Satellites QuickBird, WorldView-1, WorldView-2]. Available at: <http://www.WorldView.ru>
3. Locija Ohotskogo morja. Kniga #1406. Vyp. 1. Juzhnaja chast' morja [Lotsia of the Okhotsk Sea. Book №1406. Vol. 1. The southern part of the sea] (1984). Moscow, Russia : GUNiO MO, 57.
4. Kunashir web portal. Available at: <http://esimo.oceanography.ru>
5. Zenkovich, V. P. (1952). Morskoj bereg [Sea coast]. Moscow, Russia : Gostehizdat, 74.
6. Tiepolt, L., Schumacher, W. (1999). Historische bis rezente Küstenveränderungen Raum Fischland-Darß-Zingst-Hiddensee anhand von Karten, Luft- und Satellitenbildern [Historical and recent coastal changes of Fischland-Darß-Zingst-Hiddensee space using maps, aerial and satellite images]. The Coast, 61, 29-54.