

М.Ю. Грищенко¹, С.А. Буторина²

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ СНИМКОВ ДЛЯ ДЕШИФРИРОВАНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ (НА ПРИМЕРЕ ОСТРОВОВ БЕРИНГА И КУНАШИР)

АННОТАЦИЯ

Тепловые космические снимки являются перспективным источником информации о географических объектах; многие их дешифровочные свойства ещё не до конца изучены. В настоящей статье рассматриваются возможности дешифрирования растительного покрова и отдельных растительных сообществ по тепловым космическим снимкам с ресурсных спутников, т.е. снимков, характеризующихся пространственным разрешением 30-150 м. В работе использованы снимки со спутников Landsat 5, Landsat 7, Landsat 8 (съёмочные системы TM, ETM+, OLI, TIRS). Такие снимки позволяют изучать геосистемы на региональном уровне, на котором сосредоточена значительная часть географических исследований. В качестве исследуемых выбраны два участка на острове Кунашир (кальдера вулкана Головнина и район мысов Рогачёва и Геммерлинга) и один участок на острове Беринга (долина реки Буян и прилегающая водораздельная поверхность). Участки характеризуются высокой разнородностью растительного покрова, кроме того, важным фактором их выбора стало наличие большого объёма полевых материалов (геоботанических описаний), составленных сотрудниками и практикантами Курильского и Командорского им. С.В. Маракова заповедников. Всего обработано 37 космических снимков, которые были сгруппированы в многозональные файлы. Проведено сравнение результатов дешифрирования многозональных снимков с включением теплового канала и без него. В результате работы выявлена высокая эффективность применения тепловых снимков для дешифрирования некоторых сообществ, в частности кедрового стланика и кустарникового пойменного ивняка. Таким образом, тепловые космические снимки могут быть ценным дополнительным материалом при дешифрировании растительности.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

тепловые космические снимки, Landsat, географическое дешифрирование, остров Кунашир, остров Беринга

ВВЕДЕНИЕ

Космические снимки в тепловом инфракрасном диапазоне (тепловые космические снимки) являются особым источником информации о географических объектах. На них находит отображение тепловое излучение объектов земной поверхности – явление, которое невозможно зафиксировать с помощью данных дистанционного зондирования других типов. В настоящее время тепловые снимки используются преимущественно для извлечения количественных характеристик, таких, как температура объектов. Однако на основе различий в яркости на тепловых снимках возможно получение качественной информации о географических объектах.

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет; 119991, Россия, Москва, Ленинские Горы, 1; Государственный природный заповедник «Курильский»; 694500, Россия, Сахалинская обл., пос. Южно-Курильск, Заречная ул., 5; e-mail: m.gri@geogr.msu.ru

² НИУ Высшая школа экономики; 101000, Россия, Москва, Мясницкая ул., 20; e-mail: sbutorina@yandex.ru.

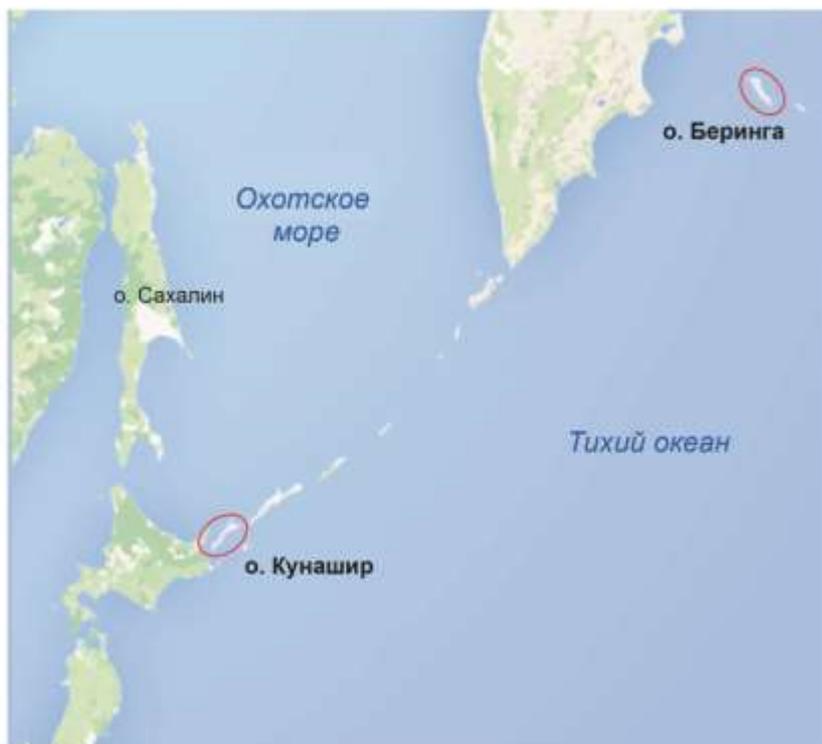


Рисунок 1. Расположение исследуемых островов Беринга и Кунашир
Figure 1. Bering and Kunashir islands on the map

Разные виды растительного покрова характеризуются различными тепловыми и излучательными свойствами, связанными с состоянием растительности, её видовым составом, проективным покрытием и т.п. Эти свойства находят отображение на тепловых снимках, в связи с чем их использование для дешифрирования растительного покрова представляется перспективным.

Для дешифрирования растительности на уровне геосистем оптимальными являются снимки с ресурсных спутников [Rodriguez-Galiano *et al.*, 2012]. Наиболее длительной программой ресурсной съёмки Земли является программа Landsat (съёмочные системы TM, ETM+, TIRS), имеющиеся в открытом доступе. Тепловые снимки используются с 1960-х годов, и наиболее проработанными являются исследования геосистем глобального уровня по снимкам низкого пространственного разрешения, а преобладающий подход состоит в извлечении значений температуры поверхности океана и суши. Исследования объектов земной поверхности и их свойств по тепловым снимкам с ресурсных спутников на региональном уровне развиты в существенно меньшей степени. Для дешифрирования растительности снимки в тепловом диапазоне используются не так широко, как снимки в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах. Несмотря на это, по ним могут быть выявлены некоторые особенности растительного покрова, которые не находят отображения на снимках, полученных в других частях спектра [Bluma *et al.*, 2013; Rogan *et al.*, 2013; Hulley *et al.*, 2014]. Растительность особенно хорошо опознаваема на тепловых космических снимках в период активной вегетации, когда она накапливает влагу и транспирирует. За счёт испарения влаги с поверхности листьев интенсивность теплового излучения понижается, и на снимках формируются тепловые минимумы [Srivastava *et al.*, 2009]. В холодное время года растительность поглощает и излучает тепло, что также находит отображение на тепловых снимках.

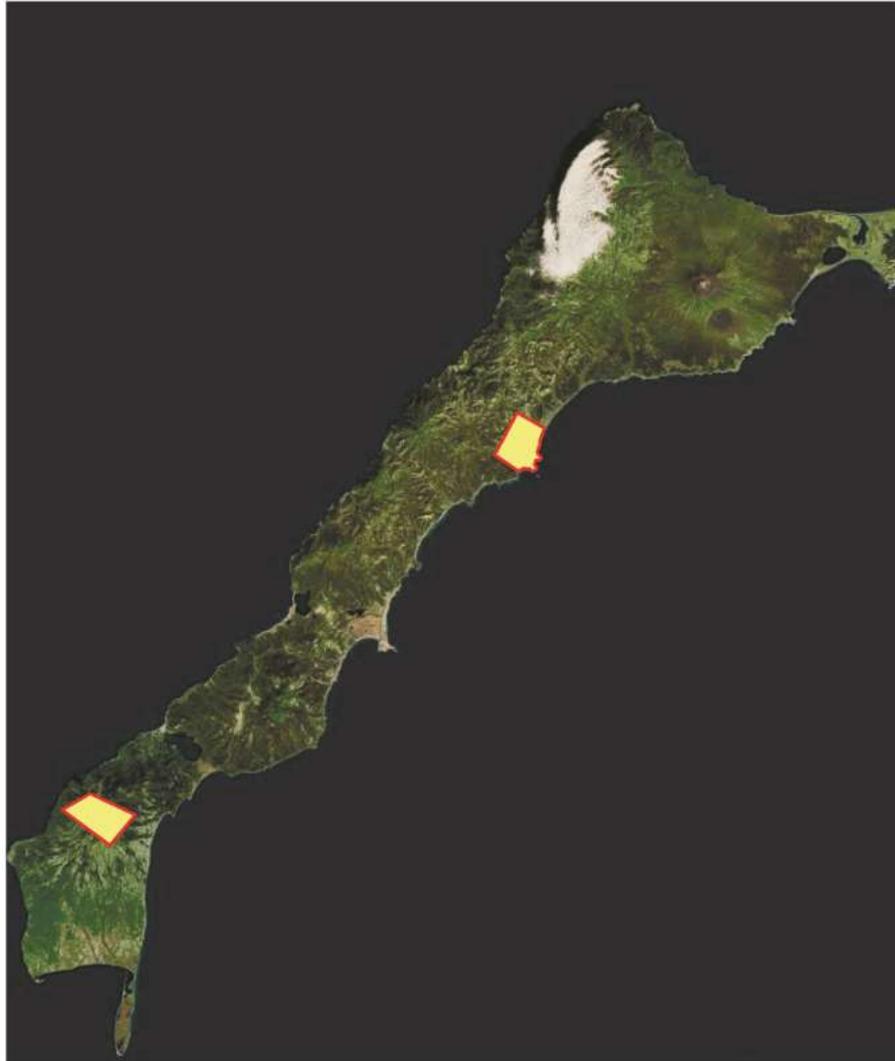


Рисунок 2. Расположение выбранных для дешифрирования участков на о. Кунашир
Figure 2. Study areas on Kunashir Island

В качестве объекта исследования выбрано несколько участков на островах Беринга и Кунашир (рисунок 1). Основанием для выбора исследуемых участков послужило наличие подробных полевых описаний растительности, составленных сотрудниками и практикантами Курильского и Командорского заповедников, а также значительное разнообразие растительных сообществ. На острове Беринга преобладают тундровые и травянистые сообщества, на острове Кунашир растительность представлена преимущественно широколиственными и темнохвойными лесами. Таким образом, выбранные участки позволяют достаточно полно оценить применимость выбранной методики для дешифрирования растительности разных типов.

Остров Кунашир – третий по величине и самый южный из островов Большой Курильской гряды, расположен в зоне умеренного влажного морского климата с выраженными муссонными свойствами. Он вытянут в направлении с юго-запада на северо-восток на 123 км в виде относительно узкой полосы шириной 8–11 км. Кунашир находится в зоне, характеризующейся высокой сейсмичностью и современным вулканизмом. Рельеф Кунашира носит преимущественно средне- и низкорельефный характер.



Рисунок 3. Расположение выбранного для дешифрирования участка на о. Беринга
Figure 3. Study area on the Bering Island

На о. Кунашир выбрано 2 участка: первый – в южной части, в пределах кальдеры вулкана Головнина, второй – в северной части острова, в районе мыса Рогачёва и мыса Геммерлинга. Площади участков – 17 км² (северный), 18 км² (южный) (рисунок 2).

На южном участке, в кальдере вулкана Головнина, распространены следующие растительные сообщества: елово-пихтовые леса (*Abies sachalinensis*, *Picea jezoensis*, *Picea glehnii*), гленоельники (*Picea glehnii*), бамбучники (*Sasa kurilensis*), кедровый стланик (*Pinus pumila*), лиственные леса (преобладание *Betula ermanii* и *Quercus crispula*). В пределах рассматриваемого участка находятся кратерное озеро (оз. Кипящее) и кальдерное озеро (оз. Горячее). Озеро Кипящее расположено в юго-западной части кальдеры. Оно занимает кратерное понижение, и вода в нем подогревается газогидротермами и термальными источниками. Озеро Горячее находится в северо-восточной части кальдеры и занимает около трети площади её днища. Повышенную температуру имеют отдельные участки его акватории, связанные с придонными термальными источниками.

Растительный покров северного участка характеризуется преимущественно такими сообществами, как темнохвойные леса (*Abies sachalinensis*, *Picea jezoensis*, *Taxus cuspidata*), смешанные леса (*Abies sachalinensis*, *Picea jezoensis*, *Betula ermanii* и др.), заросли курильского бамбука (бамбучники, *Sasa kurilensis*) и долинные ольховые леса (*Alnus hirsuta*). Небольшим по размеру участком представлен кедровый стланик.

Остров Беринга входит в состав архипелага Командорские острова, который располагается в океаническом секторе умеренного пояса в южной части Берингова моря. Преобладающий рельеф острова – низко- и среднегорный.

Для дешифрирования растительности на о. Беринга выбран участок в северной части острова на побережье Берингова моря, к северу от реки Буян (рисунок 3). Площадь участка составляет 23 км². Растительный покров данной территории характеризуется мозаичностью – преобладают мелкоконтурные сочетания различных видов тундр (щебнисто-кустарничковой, кустарничковой, травянистой, заболоченной). Помимо тундровой растительности на участке в пойме реки Буян распространены кустарниковые ивняки.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В работе использованы снимки со спутников серии Landsat, полученные съёмочными системами TM, ETM+, OLI и TIRS в разные сезоны с 1999 по 2014 г. – всего 37 снимков. Отбирались снимки без облаков, тумана и дымки. Были задействованы каналы, наиболее информативные с точки зрения дешифрирования растительного покрова – красный, ближний инфракрасный (БИК), средний инфракрасный (средний ИК).

Другими источниками для проведения исследований послужили геоботанические описания, составленные сотрудниками и практикантами Курильского и Командорского заповедников, а также снимки сверхвысокого пространственного разрешения с картографических интернет-порталов, к примеру BingMaps.

После отбора и предварительной обработки снимков составлены многозональные снимки [Книжников и др., 1991]. Для сравнения составлены пары многозональных снимков – с участием теплового канала (красный, БИК и тепловой каналы) и без участия теплового канала (красный, БИК, средний ИК-каналы).

Далее для проведения контролируемой классификации выбраны эталонные участки. Точки геоботанических описаний использованы для создания эталонов при дешифрировании основных групп растительных сообществ по снимку сверхвысокого пространственного разрешения.

Классификация снимков проведена с использованием метода максимального правдоподобия (maximum likelihood classification) в программном пакете ArcGIS 10.2. Интерпретация результатов проведена с использованием снимка сверхвысокого пространственного разрешения и графиков спектральных образов дешифрируемых объектов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Южный участок на острове Кунашир (кальдера вулкана Головнина)

На участке в кальдере вулкана Головнина получены наиболее репрезентативные результаты дешифрирования благодаря значительному разнообразию растительных сообществ и наличию большого количества снимков за разные сезоны года.

На данном участке выделены: елово-пихтовые леса, гленоельники (монодоминантные лесные сообщества из ели Глена), бамбучники, заросли кедрового стланика, лиственные леса, участки открытого грунта, кратерное озеро (оз. Кипящее) и кальдерное озеро (оз. Горячее).

Одним из наиболее показательных оказался результат классификации снимка, полученного 19 сентября 2013 года со спутника Landsat 8. Это объясняется тем, что сентябрь на острове Кунашир является периодом активной вегетации растительности, а также высоким радиометрическим разрешением снимков со спутника Landsat 8.



Рисунок 4. Массив кедрового стланика (розовый цвет) к востоку от оз. Горячее на результатах автоматизированного дешифрирования многозональных снимков со спутника Landsat 8 за 19 сентября 2013 г.,

использованы каналы: сверху – (Red, NIR, SWIR), снизу – (Red, NIR, TIR)

Figure 4. Dwarf pine brushwood (colored pink) to the east of Goryacheye Lake as a result of Landsat 8 multispectral image interpretation (19.09.2013), channels used: top – (Red, NIR, SWIR), below – (Red, NIR, TIR)

При классификации многозонального снимка с участием теплового канала (красный – Red, ближний ИК – NIR, тепловой ИК – TIR) кедровый стланик выделился более достоверно, чем без него (Red, NIR, средний ИК – SWIR) (рисунок 4). Таким образом, объекты, которые в видимом, ближнем и среднем ИК диапазонах имеют схожие характеристики, при добавлении информации об интенсивности их теплового излучения лучше дешифрируются. В данном случае благодаря различиям в тепловых и излучательных свойствах стланика и лиственного леса данные сообщества различаются достоверно.

При классификации многозональных снимков, полученных в теплое время года, при использовании теплового канала более достоверно различаются открытые (открытый грунт) и безлесный участки (бамбучники) и участки, покрытые густой растительностью (кедровый стланик, леса). Такие объекты по-разному нагреваются, соответственно интенсивность их теплового излучения также различна.

Выявлено, что на снимках, полученных зимой и весной, т.е. в период устойчивого снежного покрова, древесная растительность выделяется более достоверно по результатам дешифрирования многозональных снимков с участием теплового канала. В это время года различается интенсивность теплового излучения кедрового стланика и лиственных лесов, поскольку деревья способны накапливать и излучать тепло, в отличие от стланика, находящегося под снежным покровом. При этом в других диапазонах спектра различия в яркости этих сообществ незначительны. На приведённых схемах дешифрирования (рисунок 5) видно, что при классификации снимков с участием теплового канала выделились массивы лиственного леса (серый цвет) к востоку от озера Горячее.

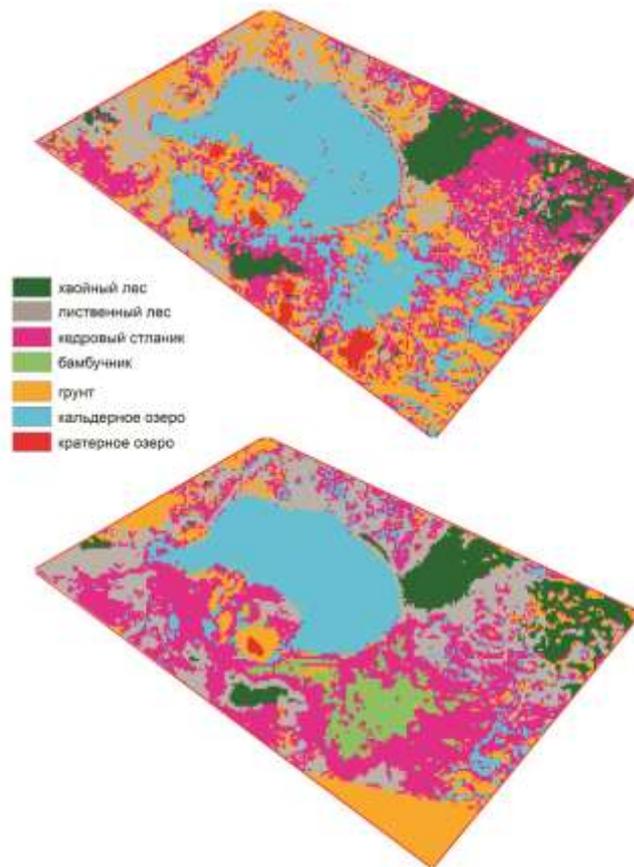


Рисунок 5. Результаты автоматизированного дешифрирования, полученные по многозональному снимку системы TM за 22 января 2007 г., использованы каналы: сверху – (Red, NIR, SWIR), снизу – (Red, NIR, TIR)
Figure 5. Results of multispectral image interpretation (01.22.2007, sensor TM), channels: up – (Red, NIR, SWIR), below – (Red, NIR, TIR)

Отмечены также преимущества использования тепловых снимков для дешифрирования объектов, не относящихся к растительности. При классификации многозональных снимков с участием теплового канала посторонние объекты в класс кратерного озера и в класс открытого грунта не попадают.

Северный участок на острове Кунашир

По результатам классификации многозональных снимков на данную территорию удалось выявить меньше преимуществ использования теплового канала для дешифрирования, чем на южном участке. Эта территория характеризуется меньшим разнообразием растительных сообществ.

Выделено три группы растительных сообществ: темнохвойные леса, бамбучники и ольховники. На рассматриваемой территории также произрастает смешанный лес, но отсутствуют участки чистых лиственных лесов для создания эталона.

При классификации многозонального снимка с участием теплового канала на летних снимках более достоверно выделяются участки ольховников на склонах долин (рисунок 6). Выявлено, что бамбучники выделяются более достоверно при классификации многозональных снимков, полученных в тёплое время года с участием теплового канала.

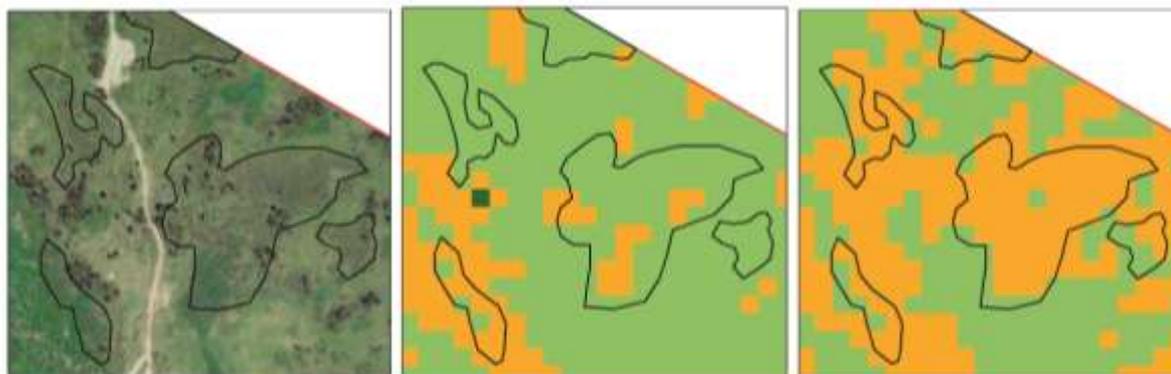


Рисунок 6. Участки ольховника (оранжевый цвет) на склонах долин.

Слева – снимок сверхвысокого пространственного разрешения, синтезированный в натуральной цветопередаче; посередине и справа – результаты дешифрирования многозонального снимка со спутника Landsat 8 (съёмочные системы OLI и TIRS), 2 июня 2014 г.:

посередине – каналы (Red, NIR, SWIR), справа – каналы (Red, NIR, TIR)

Figure 6. Alder forests (coloured orange) on the slopes of the streams valleys.

On the left side – image of very high spatial resolution in natural colours; in the middle and on the right side – the results of the Landsat 8 (OLI and TIRS sensors) multispectral image interpretation, June 02 2014): in the middle – channels (Red, NIR, SWIR), on the right side – channels (Red, NIR, TIR)

Участок на острове Беринга, район реки Буян

Для растительного покрова выбранного участка на о. Беринга, как упоминалось выше, характерна мозаичность – преобладают мелкоконтурные сочетания различных видов тундры. Основываясь на данных полевых обследований, авторы выделили здесь щебнисто-кустарничковую, кустарничковую, травянистую, заболоченную тундру, а также долинные ивняки. Стоит отметить, что территория является весьма сложной в плане дешифрирования растительности. Пространственного разрешения теплового канала порой недостаточно для выделения небольших по площади тундровых сообществ.

Выявлено, что щебнисто-кустарничковые тундры преимущественно более достоверно выделяются при классификации летних многозональных снимков с участием теплового канала благодаря тепловым и излучательным свойствам открытого грунта.

Пойменная растительность, представленная ивняками (кустарниковая форма ивы), при классификации летних многозональных снимков с участием теплового канала дешифрируется достоверно, т.к. интенсивность её теплового излучения существенно ниже, чем у тундровых сообществ (рисунок 7). При классификации снимков без теплового канала не было получено ни одного варианта верного выделения пойменных ивняков.

При анализе результатов классификации летних многозональных снимков с участием теплового канала можно также выявить, что кустарничковые тундры достоверно отделяются от заболоченных и травянистых в связи с различным характером увлажнения.

Стоит отметить, что на результаты дешифрирования оказывает влияние экспозиция склонов. Склоны северной экспозиции при классификации некоторых снимков попали в класс ивняка, поскольку интенсивность теплового излучения, характерная для них, существенно ниже, чем на склонах экспозиции южных румбов.

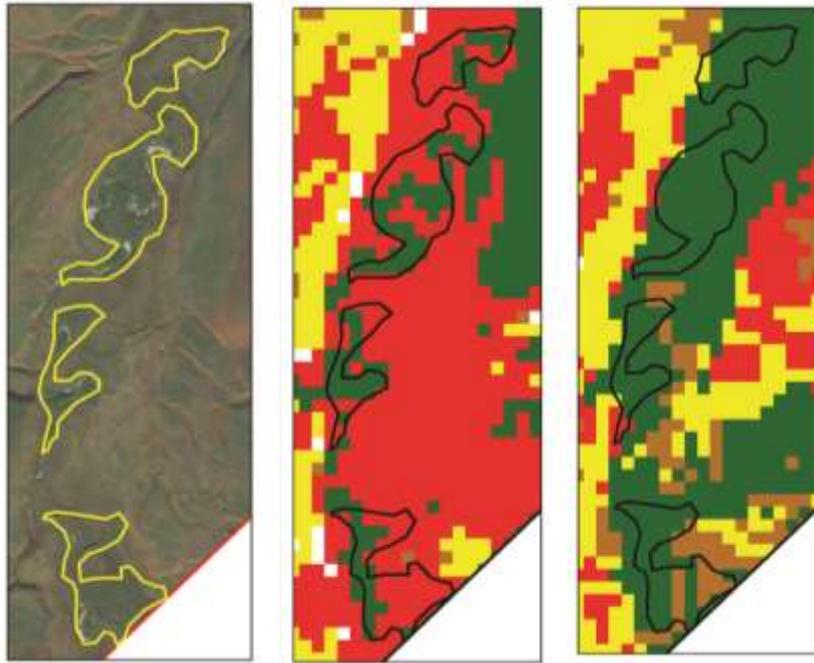


Рисунок 7. Пойменный ивняк (выделен контуром) в долине реки Буян.

Слева – снимок сверхвысокого пространственного разрешения, синтезированный в натуральной цветопередаче; посередине и справа – результаты дешифрирования многозонального снимка со спутника Landsat 8

(съёмочные системы OLI и TIRS), 31 августа 2014 г.:

посередине – каналы (Red, NIR, SWIR), справа – каналы (Red, NIR, TIR)

Figure 7. Willow brushwood (outlined) in the river Buyan valley.

On the left side – image of very high spatial resolution in natural colours;

in the middle and on the right side – the results of the Landsat 8

(OLI and TIRS sensors) multispectral image interpretation, August 31 2014):

in the middle – channels (Red, NIR, SWIR), on the right side – channels (Red, NIR, TIR)

ВЫВОДЫ

В ходе работы изучены возможности использования тепловых снимков для дешифрирования растительного покрова на территориях острова Беринга и острова Кунашир. Стоит отметить, что для разных типов растительности возможности использования тепловых снимков различаются. В целом, обобщая результаты работы, можно сделать следующие выводы:

1. Для хвойных и смешанных лесов Южных Курильских островов целесообразно использовать тепловой канал для дешифрирования сообществ кедрового стланика и лиственных лесов. При этом помимо снимков, полученных в период активной вегетации, для выделения лиственных лесов могут быть использованы зимние и весенние снимки. Для дешифрирования бамбучников использование теплового канала также представляется эффективным.

2. Для тундровых сообществ (о. Беринга) оправдано и эффективно использование теплового канала для дешифрирования щебнисто-кустарничковых и кустарничковых тундр, а также для выделения пойменной растительности, представленной долинными ивняками.

3. Использование теплового канала целесообразно для достоверного разделения объектов: воды, открытого грунта, растительного покрова.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность доктору географических наук, ведущему научному сотруднику лаборатории аэрокосмических методов кафедры картографии и геоинформатики географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова Кравцовой В.И. за ценные советы

при обсуждении работы, а также сотрудникам и практикантам Курильского и Командорского имени С.В. Маракова заповедников Гавриловой В.И., Киселёвой А.Ю., Пестиной П.В., Петровой Н.А. за предоставленные геоботанические описания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Книжников Ю.Ф., Кравцова В.И. Аэрокосмические исследования динамики географических явлений. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1991. – 206 с.
2. Bluma M., Lenskya I.M., Nestel D. Estimation of olive grove canopy temperature from MODIS thermal imagery is more accurate than interpolation from meteorological stations // *Agricultural and Forest Meteorology*. – 2013. – Vol. 176. – Pp. 90–93.
3. Hulley G., Veraverbeke S., Hook S. Thermal-based techniques for land cover change detection using a new dynamic MODIS multispectral emissivity product (MOD21) // *Remote Sensing of Environment*. – 2014. – Vol. 140. – Pp. 755–765.
4. Rodriguez-Galiano V., Pardo-Iguzquiza E., Sanchez-Castillo M., Chica-Olmo M., Chica-Rivas M. Downscaling Landsat 7 ETM+ thermal imagery using land surface temperature and NDVI images // *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. – 2012. – Vol. 18. – Pp. 515–527.
5. Rogan J., Ziemer M., Martin D., Ratick S., Cuba N., De Lauer V. The impact of tree cover loss on land surface temperature: A case study of central Massachusetts using Landsat Thematic Mapper thermal data // *Applied Geography*. – 2013. – Vol. 45. – Pp. 49–57.
6. Srivastava P.K., Majumdar T.J., Bhattacharya A.K. Surface temperature estimation in Singhbhum Shear Zone of India using Landsat-7 ETM+ thermal infrared data // *Advances in Space Research*. – 2009. – Vol. 43. – Pp. 1563–1574.

Mikhail Yu. Grishchenko¹, Sofia A. Butorina²

EVALUATION OF THE THERMAL INFRARED SATELLITE IMAGES APPLIANCE FOR VEGETATION INTERPRETATION (CASE STUDY OF BERING AND KUNASHIR ISLANDS)

ABSTRACT

Thermal infrared satellite images are a promising source of information about geographic objects; many of their interpretive features have not been fully examined yet. In this paper we study the possibility of revealing the vegetation cover and certain vegetation communities using thermal infrared satellite images acquired by resource satellites-images characterized by spatial resolution of 30-150 m. These images allow us to study geosystems at the regional level, where the significant part of geographical research is focused. As the study areas selected two sites on Kunashir Island (caldera of the Golovnin volcano and Rogachiov and Gemmerling capes environs and one site on Bering Island (Buyan river valley and its watershed). The area is characterized by high heterogeneity of vegetation cover; in addition, an important factor in this choice was a large number of geobotanical descriptions made up by employees and trainees of the Kurilsky and S.V. Marakov Komandorsky nature reserves. In total, there were processed 37 satellite images that were grouped into multispectral files. The results of interpretation of multispectral images with a thermal infrared channel and without it have been compared. As a result, the work showed a high efficiency of using

¹ M.V. Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography; 119991, Russia, Moscow, Leninskie Gory, 1; State nature reserve “Kurilsky”; 694500, Russia, Sakhalin Region, Yuzhno-Kurilsk, Zarechnaya st, 5; e-mail: m.gri@geogr.msu.ru

² NRU Higher School of Economics; 101000, Russia, Moscow, Myasnitskaya st, 20; e-mail: sbutorina@yandex.ru

thermal infrared images to reveal some vegetation communities, particularly dwarf pine brushwood and floodplain willow shrub.

KEYWORDS:

thermal infrared images; Landsat; geographical interpretation of satellite images; Kunashir island; Bering island

REFERENCES

1. Knizhnikov Yu.F., Kravtsova V.I. Aerokosmicheskie issledovaniya dinamiki geograficheskikh yavlenii [Aerospace researches of the geographical phenomena dynamics], Moscow: Izd-vo Mosk. un-ta, 1991, 206 p. (in Russian).
2. Bluma M., Lenskya I.M., Nestel D. Estimation of olive grove canopy temperature from MODIS thermal imagery is more accurate than interpolation from meteorological stations. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2013, Vol. 176, pp. 90–93.
3. Hulley G., Veraverbeke S., Hook S. Thermal-based techniques for land cover change detection using a new dynamic MODIS multispectral emissivity product (MOD21). *Remote Sensing of Environment*, 2014, Vol. 140, pp. 755–765.
4. Rodriguez-Galiano V., Pardo-Iguzquiza E., Sanchez-Castillo M., Chica-Olmo M., Chica-Rivas M. Downscaling Landsat 7 ETM+ thermal imagery using land surface temperature and NDVI images. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2012, Vol. 18, pp. 515–527.
5. Rogan J., Ziemer M., Martin D., Ratick S., Cuba N., De Lauer V. The impact of tree cover loss on land surface temperature: A case study of central Massachusetts using Landsat Thematic Mapper thermal data. *Applied Geography*, 2013, Vol. 45, pp. 49–57.
6. Srivastava P.K., Majumdar T.J., Bhattacharya A.K. Surface temperature estimation in Singhbhum Shear Zone of India using Landsat-7 ETM+ thermal infrared data. *Advances in Space Research*, 2009, Vol. 43, pp. 1563–1574.

УДК 551.467

DOI: 10.24057/2414-9179-2017-3-23-81-92

В.А. Романюк¹, И.В. Еременко², В.М. Пищальник³

АНАЛИЗ МЕЖГОДОВОЙ И СЕЗОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ЛЕДОВИТОСТИ В ЗАЛИВЕ АНИВА И ПРОЛИВЕ ЛАПЕРУЗА ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

АННОТАЦИЯ

На основе данных спутниковых наблюдений за ледяным покровом с использованием геоинформационных технологий выполнен анализ межгодовой и сезонной изменчивости ледовитости в заливе Анива и проливе Лаперуза. Установлено, что за период с 1979 по 2016 г. в заливе Анива отмечается тенденция сокращения ледовитости на 2,5%, а в проливе Лаперуза – её увеличение на 11%. Выявлено, что залив Анива является единственной акваторией, в которой отмечена тенденция увеличения ледовитости. На основе анализа динамики аномалий ледовитости относительно климатической стандартной нормы 1981–2010 гг. выде-

¹ ФГБОУ ВО «Сахалинский государственный университет»; 693000, Южно-Сахалинск, ул. Ленина, 290; e-mail: kunashir18@rambler.ru

² ФГБОУ ВО «Сахалинский государственный университет»; 693000, Южно-Сахалинск, ул. Ленина, 290; e-mail: irinkaeremenko@ya.ru

³ ФГБОУ ВО «Сахалинский государственный университет»; 693000, Южно-Сахалинск, ул. Ленина, 290; e-mail: vpushchalnik@rambler.ru