

КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ПРОЯВЛЕНИЙ ВУЛКАНИЧЕСКОЙ И ПОСТВУЛКАНИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ НА ОСНОВЕ ДЕШИФРИРОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ ВЫСОКОГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ

*Устюхина А.В.,
Грищенко М.Ю.*

Резюме – Данная статья посвящена разработке методики картографирования проявлений вулканической и поствулканической активности на основе результатов дешифрирования космических снимков в тепловом диапазоне. В качестве изучаемой территории выбраны вулканы Курильских островов, Камчатки и Исландии. При разработке методики использовались снимки со спутников Landsat-5,7,8. В качестве результата работы в статье представлены примеры карт, созданные по разработанной методике, и их анализ. В результате анализа карт получены выводы о характере проявлений вулканизма некоторых вулканов Камчатки, Исландии и Курильских островов.

Ключевые слова – картографирование, тепловые снимки, Landsat, Камчатка, Исландия, Курильские острова, вулканизм.

MAPPING OF VOLCANIC AND POST-VOLCANIC ACTIVITY BASED ON INTERPRETATION OF THERMAL SATELLITE IMAGES OF HIGH SPATIAL RESOLUTION

*Ustyukhina A. V.,
Grishchenko M. Y.*

Abstract – This paper focuses on the development of a methodology of mapping volcanic and post-volcanic activity based on the interpretation of thermal infrared satellite images. As the study area were selected volcanoes of the Kuril Islands, Kamchatka and Iceland. As the main data were used satellite images from Landsat 5, 7, 8 satellites. As a result of the research in the paper there are presented examples of maps created using the developed technique and their analysis. As a result of the analysis of the maps were made conclusions about the peculiarities of volcanism on some volcanoes of Kamchatka, Iceland, and the Kuril Islands.

Keywords – mapping, thermal satellite images, Landsat, Kamchatka, Iceland, Kuril Islands, volcanism.

Введение

Одной из задач географической картографии является отображение и исследование геосистем. Вулканическая активность оказывает значительное влияние на окружающие ландшафты, геосистемы, а также на населенные пункты, расположенные в непосредственной близости к проявлениям вулканической активности. Не менее важное

влияние на окружающие геосистемы оказывает поствулканическая активность — фумарольные и сольфатарные поля, термальные водотоки и источники, термальные озера. Поэтому явления вулканической и поствулканической активности нуждаются в детальном изучении и картографировании. Одним из методов изучения вулканической и поствулканической активности является дешифрирование материалов дистанционного зондирования. Так как вулканическая и поствулканическая деятельность связана с выбросами большого количества тепла, которое позволяет регистрировать съемка в инфракрасном тепловом диапазоне [4], то материалы дистанционного зондирования преимущественно в тепловом диапазоне и результаты их дешифрирования являются информативным источником данных для картографирования районов вулканической деятельности и её проявлений. Преимуществом дистанционного метода изучения проявлений вулканической и поствулканической активности также является удобство его применения для труднодоступных районов. В настоящее время имеется проработанная методика создания карт вулканической активности на основе метода радиолокационной интерферометрии [2], а в данной работе рассмотрена методика создания карт вулканической тематики на основе космических снимков в тепловом диапазоне.

Географическая характеристика изучаемой территории

Курильские острова представляют собой архипелаг, протянувшийся от севера Японии до южной оконечности Камчатки (м. Лопатка), отделяющий Охотское море от Тихого океана. В целом Курильские острова представлены либо возвышающимися со дна океана конусообразными вулканами-островами, либо вулканическими горными массивами, расположенными на поднятом на разную высоту дочетвертичном складчатом основании и обрамленными морскими террасами. На Курильских островах находится более 85 вулканов, 39 из них действующие. Это объясняет господство вулканического рельефа, который занимает не менее половины площади на крупных островах и целиком характеризует мелкие острова. В ходе работы были рассмотрены все действующие вулканы Курильских островов [1].

Среди вулканов острова Исландия рассмотрен вулкан Баурдарбунга. Баурдарбунга — подледный стратовулкан щитового типа, расположенный в юго-восточной части Исландии на северо-западной окраине ледника Ватнайёкюдль (Рис.26). Вулкан Баурдарбунга находится в кальдере глубиной 700 м. Вулкан имеет высоту 2009 м. Это вторая по высоте вершина Исландии. Вулканические разломы вулкана связаны с вулканами Аскья и Торвайёкюдль, последние извержения которых были в 1961 и 1477 гг. соответственно [7].

Среди вулканов полуострова Камчатка рассмотрены вулканы Карымский и Малый Семячик. Вулкан Карымский входит в Карымский вулканический центр. Это группа вулканов, расположенная на Восточном вулканическом поясе Камчатки, в центральной его части. Вулкан Карымский находится в 30 км к западу от побережья Тихого океана и в 125 км к северу от г. Петропавловск-Камчатский [6]. Вулкан является одним из активнейших вулканов Курило-Камчатского вулканического пояса [3]. Вулкан Карымский постоянно (более 150 лет) находится в стадии эксплозивной и эксплозивно-эффузивной активности. Вулкан Малый Семячик расположен на полуострове Камчатка (Восточный хребет) в 20 км от берега Тихого океана и в 16 км к северу от вулкана Карымский. Как и вулкан Карымский, вулкан Малый Семячик относится к Карымской группе вулканов. Он представляет собой современный активный вулкан, его постройка является вулканическим хребтом протяженностью 3 км, это слившиеся конуса (северный древний, средний с полужасыпанным кратером

и юго-западный с активным кратером Троицкого) [5]. Современная активность вулкана сосредоточена только в кратере Троицкого, в нем расположено одно из самых кислых озер в мире — оз. Зеленое.

Материалы и методика

В ходе исследования использованы снимки, полученные со съемочных систем ТМ (спутник Landsat 5), ETM+ (спутник Landsat 7) и TIRS (спутник Landsat 8). Снимки со спутников Landsat-5,7,8 находятся в свободном доступе на сайте Геологической службы США (United States Geological Survey, USGS), а именно на интернет-портале EarthExplorer. Основными критериями выбора снимков являлись пространственный охват, разрешение, покрытие облаками, сопоставимость. Еще одним фактором, влияющим на выбор космических снимков, является дата съемки. Предпочтение отдавалось снимкам, дата съемки которых совпадала с датами крупных извержений, которые рассматривались в работе.

Помимо космических снимков в работе использовались текстовые источники — статьи и монографии, топографические карты и цифровые модели местности.

В процессе исследования применялись такие методические приемы как визуальное дешифрирование одиночных тепловых снимков, визуальное дешифрирование синтезированных снимков и расчет значений температуры земной поверхности по тепловому снимку.

Оформление результатов выполнялось в программных пакетах ArcGIS и Adobe Illustrator.

Результаты и их обсуждение

Результатом работы является разработанная методика создания карт следующей тематики:

- пепловых полей;
- тепловых аномалий;
- динамики лавовых потоков;
- значений температуры земной поверхности;
- расположения проявлений вулканической и поствулканической активности.

Примером карты пепловых полей, созданной по разработанной методике, является карта «Пепловые поля вулкана Карымский в 2000 — 2003 гг.». Она приведена на рисунке 1.

Карта иллюстрирует участки, которые были покрыты пепловыми полями в течение различных промежутков в период извержения вулкана Карымский в 2000—2003 гг. На основе анализа карты можно сделать вывод, что пепловые поля распространялись во всех направлениях от вершинного кратера вулкана, однако, самая маленькая площадь была покрыта пеплом в северо-западном и южном направлениях от вершинного кратера. Площадь участка, покрытого пеплом на протяжении всего извержения, составляет 40 кв. км., наиболее обширные по площади пеплопады происходили в 2002 году — пеплом были покрыты долины некоторых притоков рек Жупанова и Карымская, конус вулкана Двор.

По результатам дешифрирования оценена площадь, покрытая пеплом в разные годы (таблица 1).

Таким образом, карты пепловых полей позволяют давать не только качественную, но и количественную оценку площадей, покрытых пеплом.

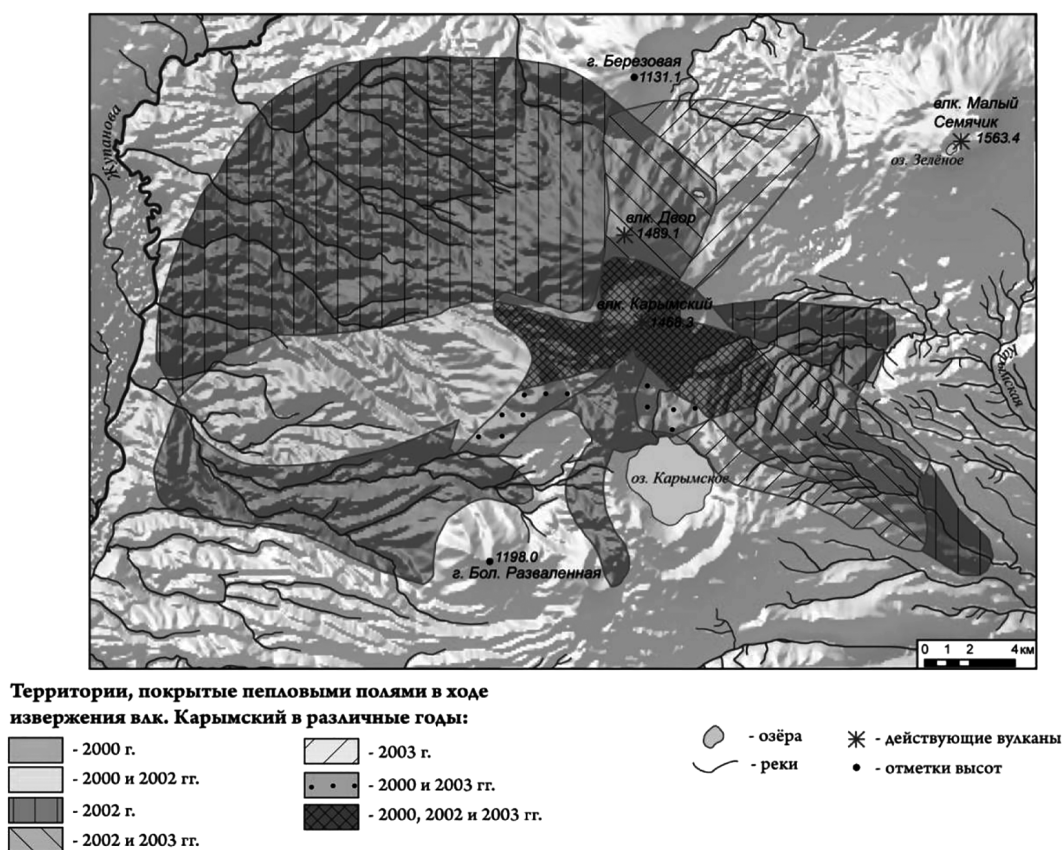


Рис. 1. Пепловые поля вулкана Карымский в 2000 – 2003 гг.

Таблица 1.

Площадь пепловых полей в различные годы в ходе извержения вулкана Карымский в 2000–2003 гг.

Год	Площадь территорий, покрытых пеплом, кв. км
2000	213,5
2001	0 (наблюдался спад активности вулкана)
2002	418,6
2003	167,7

Пример карты температуры земной поверхности, характеризующей район вулкана Карымский и его окрестностей в разные периоды извержения приведен на рисунке 2.

На карте отчетливо видна дифференциация температуры на склонах вулкана при эффузивном и эксплозивном типах выбросов. При эффузивном типе выброса изолинии повторяют контуры образовавшегося лавового потока, а при эксплозивном – наблюдается значительное повышение температуры на очень небольшом участке, расположенном близко к вершинному кратеру вулкана. На основе данной карты можно определить площадь поверхности, соответствующей наиболее прогретым участкам вулканического массива. Например, 28 мая 2003 г., когда на вулкане наблюдался эксплозивный выброс, площадь участка земной поверхности с температурой выше 90 °С составила 570 кв. м. Остальные значения оценки площадей с температурой выше значений 50, 70 и 90 °С приведены в таблице 2.

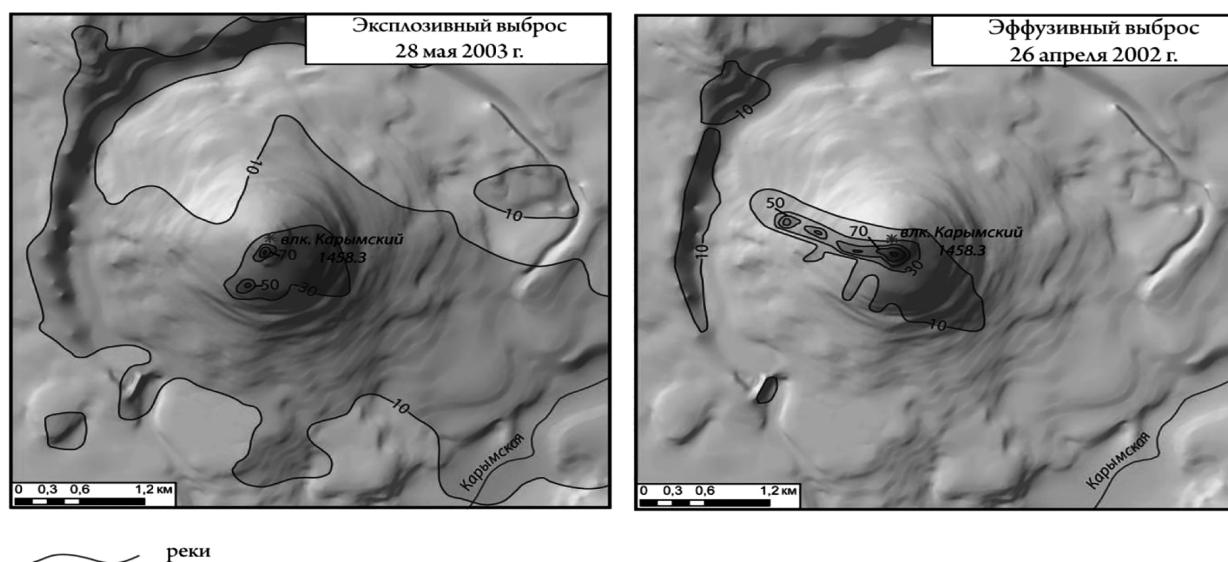


Рис. 2. Распределение значений температуры земной поверхности (рассчитанных по тепловым снимкам) на склонах вулкана Карымский при эффузивных (справа) и эксплозивных (слева) выбросах

Таблица 2.

Дифференциация температуры земной поверхности за 26 апреля 2002 г. и 28 мая 2003 г.

Площадь поверхности с температурой выше значения	26 апреля 2002 г. (эффузивный выброс)	28 мая 2003 г. (эксплозивный выброс)
50 °C	124 400 кв.м.	43 300 кв. м.
70 °C	32 600 кв.м.	9 500 кв. м.
90 °C	2 200 кв. м.	570 кв. м.

По этой же методике создана карта распределения значений температуры до извержения вулкана Баурдарбунга в 2014 – 2015 гг. и в разные его периоды, она приведена на рисунке 3.

Карта иллюстрирует, что в течение извержения менялся характер распределения значений температуры и площадь территории, нагретой выше 100 °C. **6 сентября 2014 г., когда наблюдался пик активности вулкана, площадь территории со значениями температуры 100 °C и выше составила 50,1 кв. км., а 3 января 2015 г. – 10,7 кв. км, что в 4,7 раза меньше, чем 6 сентября 2014 г.** С 6 сентября 2014 г. по 3 января 2015 г. изменился характер распределения значений температуры: 6 сентября 2014 г. изотермы расположены параллельно трещине, из которой происходило излияние лавы, область со значениями температуры земной поверхности выше 80 °C является единым полигоном, а 3 января 2015 г. наблюдаются лишь локальные повышения значений температуры.

Составлена карта температуры земной поверхности во время парогазового выброса вулкана Алаид 6 июля 2016 г. Она приведена на рисунке 4. На карте видно значительное увеличение значений температуры земной поверхности в области кратера. Значения температуры достигают 69 °C. Заметно также небольшое повышение температуры у северо-западного подножья вулкана, связанное с характером подстилающей поверхности – старое лавовое поле нагревается сильнее, чем территория, покрытая растительностью. По карте можно выявить площадь территории, для которой характерны различные диапазоны температуры. Так, участки с температурой от 10 до 20 °C занимают 50% от всей

площади острова, с температурой 20–30 °С – 33% площади острова, с температурой 20–30 °С – 11%, а территории, для которых характерна температура выше 30 °, сосредоточены лишь в кратере в районе парогазового выброса, и все вместе занимают лишь 3% площади острова Атласова.

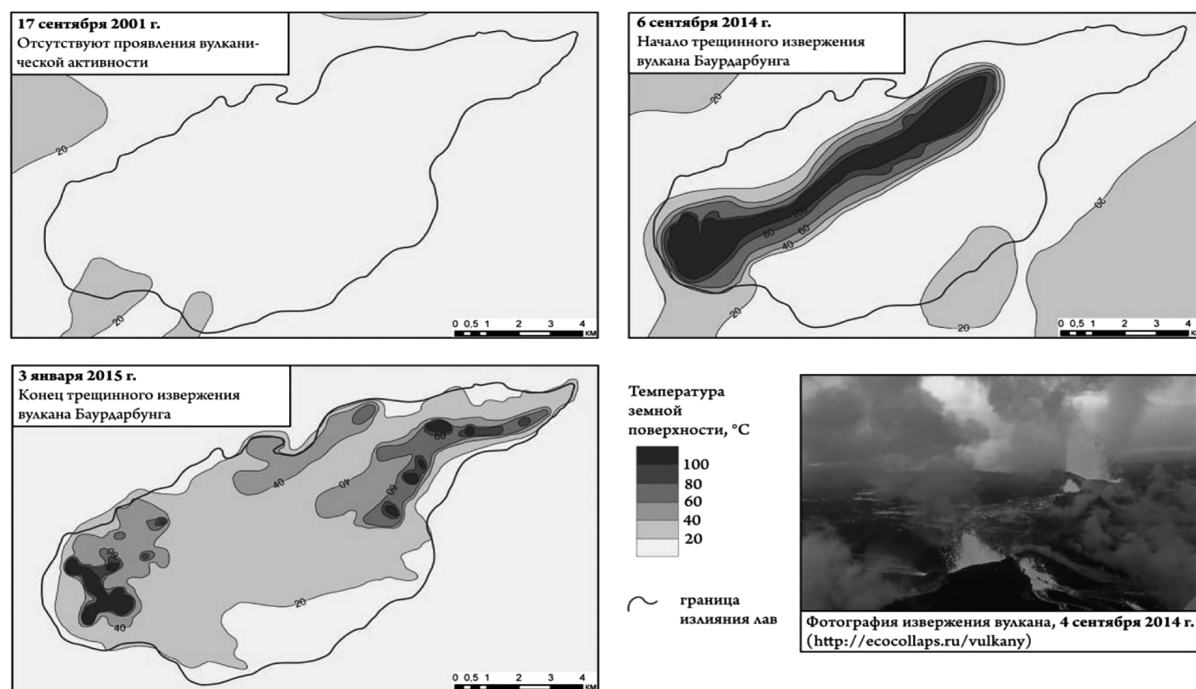


Рис. 3. Распределение значений температуры (рассчитанных по тепловым космическим снимкам) до извержения вулкана Баурдарбунга в 2014 г. и в разные его периоды

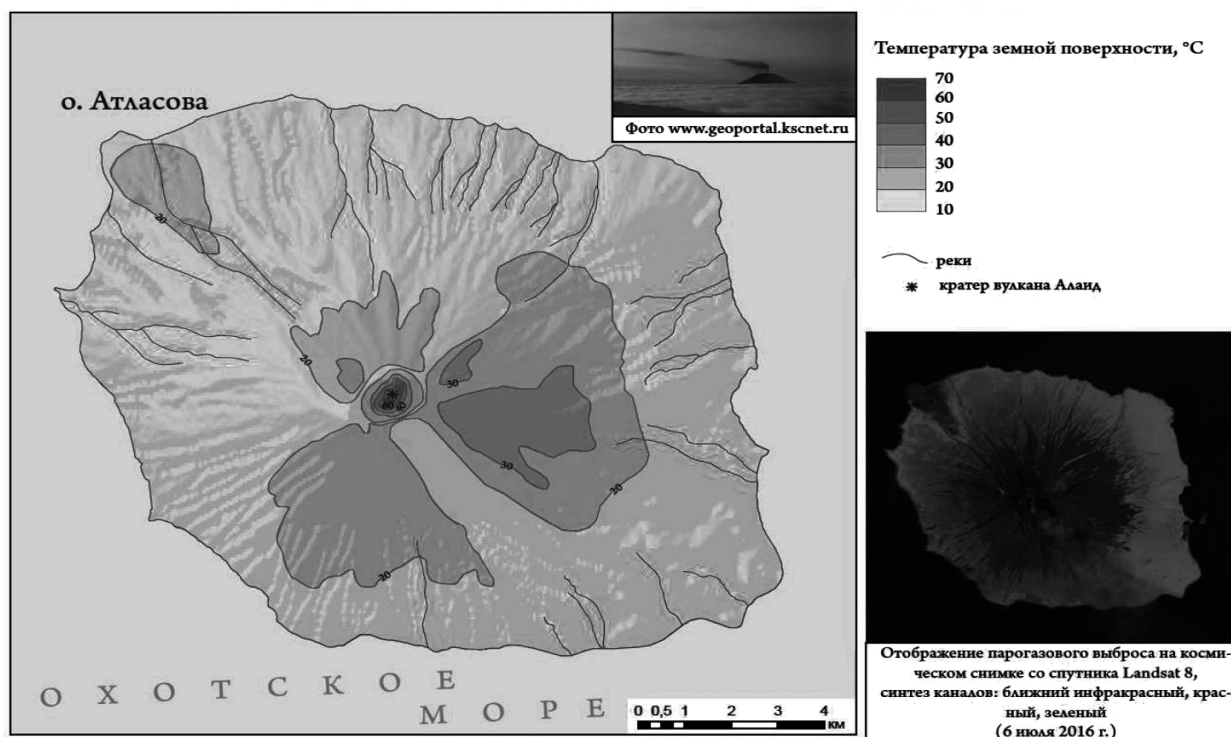


Рис. 4. Распределение значений температуры (рассчитанных по тепловым космическим снимкам) во время парогазового выброса вулкана Алаид 6 июля 2016 г.

В качестве иллюстрации применения методики создания карт положительных тепловых аномалий создана карта извержения вулкана Баурдарбунга. Она приведена на рисунке 5.

Карта иллюстрирует, что границы тепловых аномалий сильно менялись в ходе извержения, однако существуют небольшой участок, площадью 8 кв. км (на карте он показан зеленым цветом), где положительные температурные аномалии наблюдаются на протяжении всего извержения. На участке зафиксированы самые высокие значения температуры. Карта позволяет сделать вывод, что наибольшие по площади положительные температурные аномалии зафиксированы в сентябре и октябре 2014 г., что подтверждает факт, что в это время наблюдались наиболее крупные выбросы лавы из главной трещины извержения. Наименьшие по площади тепловые аномалии наблюдались в декабре 2014 г. и январе 2015 г., когда извержение уже заканчивалось.

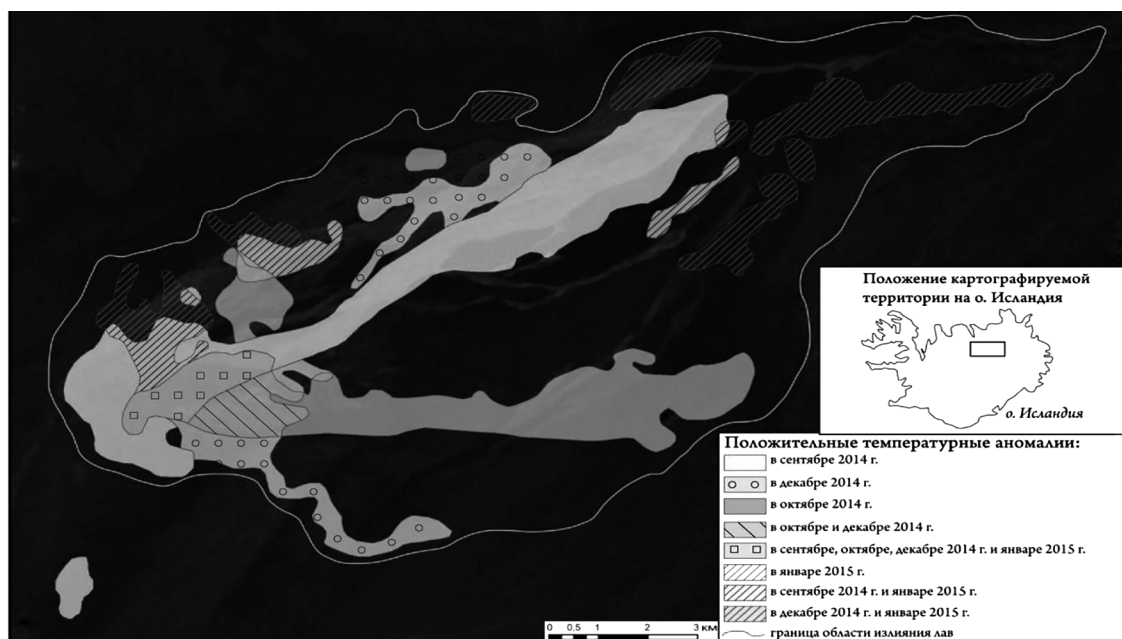


Рис. 5. Положительные температурные аномалии внутри области излияния лав при трещинном извержении вулкана Баурдарбунга в 2014 г.

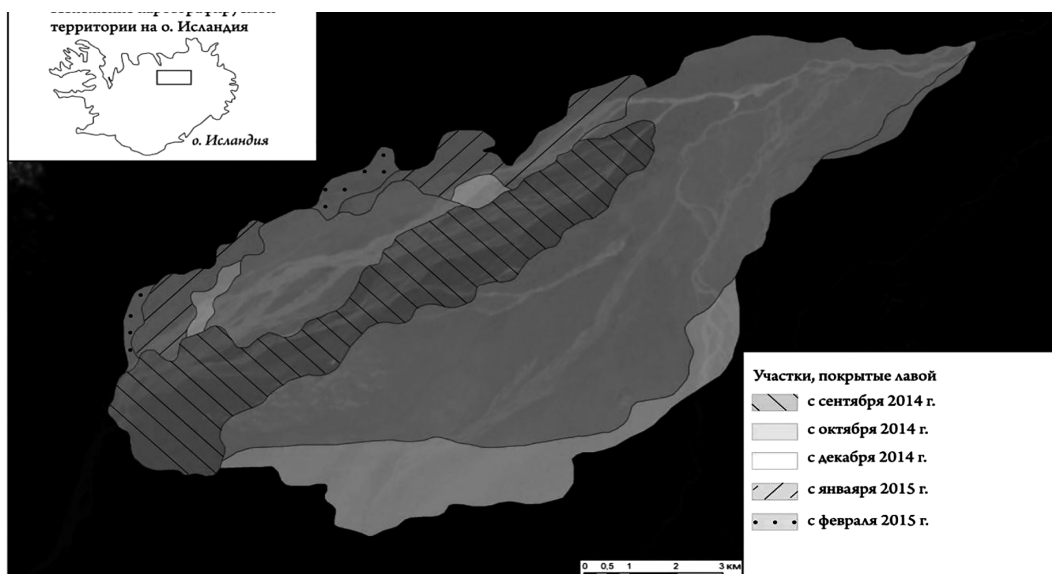


Рис. 6. Излияния лавы во время извержений вулкана Баурдарбунга в 2014–2015 гг.

По результатам визуального дешифрирования тепловых космических снимков была также составлена карта динамики излияния лав во время извержения вулкана Баурдарбунга в 2014–2015 гг. Она приведена на рисунке 6.

Данная карта позволяет анализировать площади территорий, покрытых лавой в различные временные промежутки извержения. Ниже приведена таблица 2, в которой указаны площади, покрытые лавой в различные периоды извержения, и приведен график изменения площади территории (рис 7.), покрытой лавой с сентября 2014 г. по февраль 2015 г.

Из таблицы и графика следует, что наиболее значительное увеличение площади территории, покрытой излившейся лавой имело место в октябре 2014 г, а наименьшее – в феврале 2015 г., когда извержение уже заканчивалось. Общая площадь территории, покрытой излившейся лавой на конец извержения, составила 470,4 кв. км.

Таблица 2.

Площадь территории, покрытой лавой в различные периоды извержения

Месяц	Площадь, покрытая лавой
Сентябрь 2014 г.	93,6 кв. км.
Октябрь 2014 г.	366,9 кв. км
Декабрь 2014 г.	429,6 кв. км
Январь 2015 г.	466,6 кв. км
Февраль 2015 г.	470,4 кв. км

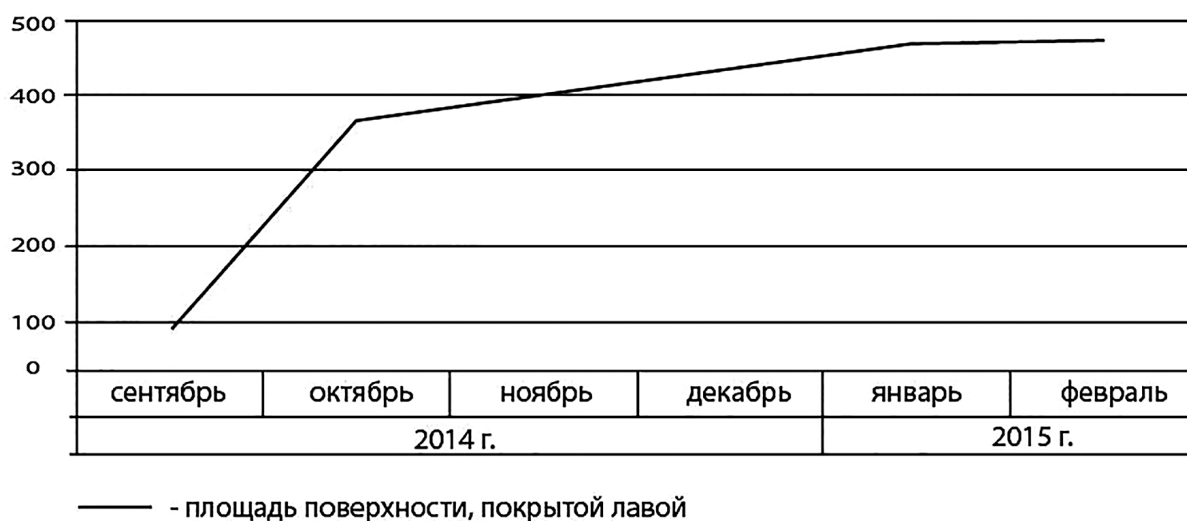


Рис. 7. График аккумуляции лавы в период извержения вулкана Баурдарбунга

Заключение

На основе информации, которую можно получить при дешифрировании космических снимков, можно составить различные виды карт вулканологической тематики. Тепловые космические снимки являются источниками информации для создания карт, отображающих динамику объектов (лавовых потоков и т.д.), для карт тепловых аномалий, карт положения и характеристик проявлений вулканической и поствулканической

активности. На основе карт, составленных по тепловым космическим снимкам, можно выявить динамику площади наиболее прогретых участков вулканического массива, что практически невозможно сделать другим способом. Карты лавовых потоков позволяют судить о динамике эффузивных процессов в ходе извержения вулкана, составлять графики площадей, покрытых лавой в различные периоды извержений. Карты расположения вулканических и поствулканических проявлений позволяют классифицировать проявления и наглядно визуализировать их характеристики. Карты пепловых полей позволяют оценить площадь территорий, покрытых пеплом в различные периоды извержения.

Список литературы

- [1] Геология СССР. Том XXXI. Камчатка, Курильские и Командорские острова. Часть 1. Геологическое описание / под ред. А. В. Сидоренко. М., «Недра», 1964. — 734 с.
- [2] Михайлюкова П. Г. Космическое картографирование динамики рельефа в зонах вулканической активности на основе метода радиолокационной интерферометрии: дис. ... канд. геогр. наук. — М., 2017. — 148 с.
- [3] Троцкий В. Д. Краткий геоморфологический очерк района Карымского вулкана // Труды Камчатской вулканологической станции. — М.-Л, 1947.- №3.-с. 49—88.
- [4] Шилин Б. В. Тепловая аэросъёмка при изучении природных ресурсов. — Л.: Гидрометеиздат, 1980. — 247 с.
- [5] Вулкан Малый Семячик [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.kscnet.ru/ivs/publication/semenov/karimr/vulkms.htm> (дата обращения: 02.07.2017)
- [6] Вулкан Карымский [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.kscnet.ru/ivs/volcanoes/karym.html> (дата обращения: 02.07.2017)
- [7] Global Volcanism Program [Электронный ресурс]. — Режим доступа URL: <http://volcano.si.edu/> (дата обращения: 02.07. 2017)

References

- [1] Geologiya SSSR. Tom XXXI. Kamchatka, Kuril'skie i Komandorskie ostrova. CHast' 1. Geologicheskoe opisanie / pod red. A. V. Sidorenko. M., «Nedra», 1964. — 734 p.
- [2] Mihajlyukova P. G. Kosmicheskoe kartografirovanie dinamiki rel'efa v zonah vulkanicheskoy aktivnosti na osnove metoda radiolokacionnoj interferometrii: dis. ... kand. geogr. nauk. — M., 2017. — 148 p.
- [3] Troickij V. D. Kratkij geomorfologicheskij ocherk rajona Karymskogo vulkana // Trudy Kamchatskoj vulkanologicheskoy stancii. — M.-L, 1947.- №3.-p. 49—88.
- [4] Shilin B. V. Teplovaya aehros»yomka pri izuchenii prirodnyh resursov. — L.: Gidrometeoizdat, 1980. — 247 p.
- [5] Vulkan Malyj Semyachik [EHlektronnyj resurs]. — Rezhim dostupa: <http://www.kscnet.ru/ivs/publication/semenov/karimr/vulkms.htm> (data obrashcheniya: 02.07. 2017)
- [6] Vulkan Karymskij [EHlektronnyj resurs]. — Rezhim dostupa: <http://www.kscnet.ru/ivs/volcanoes/karym.html> (data obrashcheniya: 02.07. 2017)
- [7] Global Volcanism Program [EHlektronnyj resurs]. — Rezhim dostupa URL: <http://volcano.si.edu/> (data obrashcheniya: 02.07.2017)

Авторы

Устюхина А. В. — магистр географии по специальности картография и геоинформатика.

Грищенко М. Ю. — старший научный сотрудник кафедры картографии и геоинформатики, кандидат географических наук.

Authors

Ustyukhina A. V. — Master of Geography, specializing in cartography and geoinformatics.

Grishchenko M. Y. — Scientific Assistant of the Department of Cartography and Geoinformatics, Candidate of Geographical Sciences.