

Данные, полученные с помощью метода РСА-интерферометрии, коррелируют с данными геодезических измерений проведенных в период 2009–2011 гг. с использованием комплекта электронного тахеометра Leica TCR 405 (см. рис. 1, в). Результаты обработки данных измерений показали, что большинство базовых линий полигона испытывает удлинение с максимальными значениями, достигающими 30 мм/год. Отмечается опускание одного из пунктов в юго-восточной части полигона со скоростью более 20 мм/год. Остальные пункты либо стабильны по высоте, либо испытывают некоторое поднятие.

Таким образом, в зоне сочленения субширотной (Тункинской) и субмеридиональной (Хубсугульской) ветвей юго-западного фланга Байкальской рифтовой системы выявлена зона активного деформирования земной поверхности с характерными скоростями первые сантиметры в год. Активизация разрывных структур в ее пределах происходит в соответствии с современным полем напряжений. Большое влияние на деформации приповерхностной части горного массива, который испытывает удлинение в различных направлениях, оказывает сила гравитации. Данные наземной геодезии и РСА-интерферометрии по местоположе-

нию и интенсивности выявленных деформаций коррелируют между собой. Можно заключить, что исследование современных деформаций на основе данных РСА показали высокий потенциал метода для его использования в горно-таежных районах Сибири. Планируется продолжить исследование с обработкой других сцен и комбинированием их с геодезическими измерениями.

Библиографические ссылки

1. Massonnet D., Rabaute T. Radar interferometry: Limits and potential // IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing. 1993. Vol. 31, № 2. P. 455–464.
2. Hanssen R. F. Radar interferometry. Data interpretation and error analysis / Delft University of Technology.

References

1. Massonnet, D., Rabaute, T. Radar interferometry: Limits and potential. IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing. 1993, vol. 31, № 2, pp. 455–464.
2. Hanssen, R.F. Radar interferometry. Data interpretation and error analysis. Delft University of Technology, the Netherlands, 308 p.

© Лебедева М. А., Саньков В. А.,
Захаров А. И., Захарова Л. Н., 2013

УДК 550-551

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОДЕФОРМАЦИЙ И ОПОЛЗНЕВЫХ ПРОЦЕССОВ СЕВЕРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ НА ОСНОВЕ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ*

Т. Н. Чимитдоржиев¹, М. Е. Быков¹, М. О. Лейбман², П. Н. Дагуров¹,
И. И. Кирбижекова¹, Ю. А. Дворников², Н. М. Бердников²

¹Институт физического материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук
Россия, 670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6. E-mail: tchimit@ipms.bsnet.ru.

²Институт криосферы Земли Сибирского отделения Российской академии наук
Россия, 625000, Тюмень, ул. Малыгина, 86. E-mail: moleibman@gmail.com

В настоящее время на северной территории России происходят масштабные разрушительные процессы вследствие усиливающейся антропогенной нагрузки и глобального изменения климата. На основе радиолокационных изображений полуострова Ямал и Ямало-Ненецкого автономного округа методами дифференциальной интерферометрии и текстурного анализа локализованы участки микродеформаций и оползневых процессов.

Ключевые слова: радарная интерферометрия, текстурный анализ, оползневые процессы.

* Исследования выполнены при поддержке гранта № 144 «Криогенные ресурсы Арктики и Субарктики: состояние и структура криолитозоны, физико-химическое моделирование и биологический потенциал криогенных систем».

STUDY OF MICRODEFORMATION AND LANDSLIDES OF THE NORTHERN TERRITORIES OF WEST SIBERIA FROM INTERFEROMETRIC DATA

T. N. Chimitdorzhiev¹, M. E. Bikov¹, M. O. Leibman², P. N. Dagurov¹,
I. I. Kirbizhekova¹, Y. A. Dvornikov², N. M. Berdnikov²

¹Institute of Physical Materials Science of Russian Academy of Sciences, Siberian Branch
6 Sakhyanova st., Ulan-Ude, 670047, Russia. E-mail: tchimit@ipms.bsnet.ru

²Institute of the Earth Cryosphere of Russian Academy of Sciences, Siberian Branch
86 Malygin st., Tyumen, 625000, Russia. E-mail: moleibman@gmail.com

Currently at the northern territory of Russia large-scale destructive processes take place, as a result of increase of anthropogenic pressure and climate change. Based on radar images of Yamal peninsula and Yamal-Nenets Autonomous Area, the areas of microstrain and landslides were localized by means of differential interferometry and texture analysis technique.

Keywords: radar interferometry, texture analysis, landslide processes.

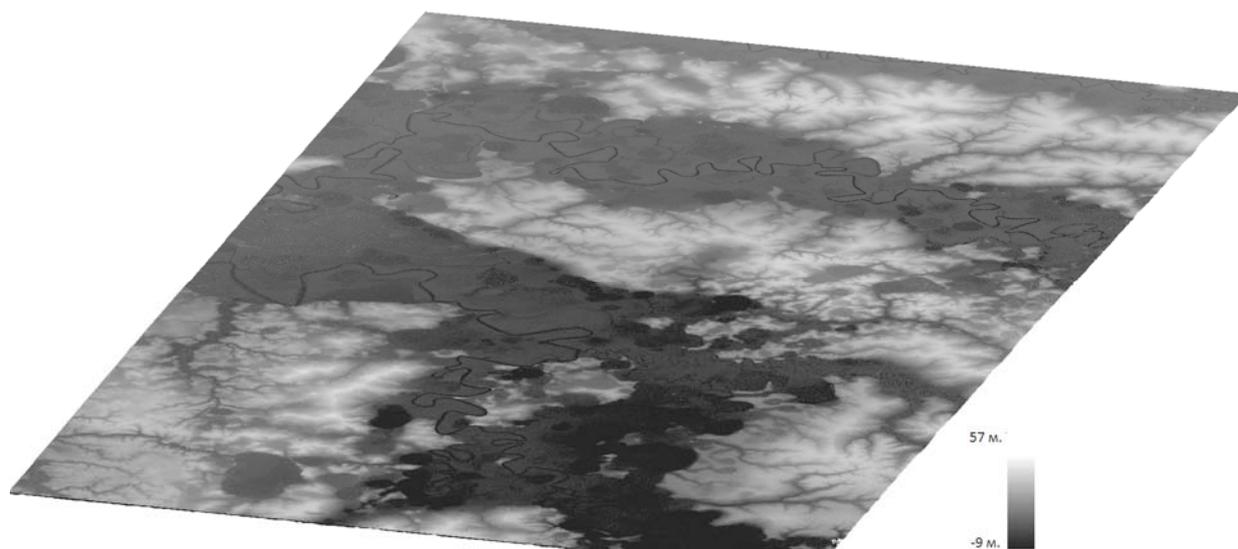
В начале XXI в. одной из наиболее актуальных проблем является изменение среды обитания человека вызванные как антропогенной деятельностью, так и глобальными климатическими процессами. Одними из самых мощных средств мониторинга состояния и динамики окружающей среды в настоящее время стали дистанционные методы зондирования Земли (ДЗЗ). Особую актуальность ДЗЗ приобретает при освоении протяженных и труднодоступных северных территорий Западной Сибири и Арктики [1; 2]. В последние десятилетия вследствие возрастающей антропогенной нагрузки и климатических изменений здесь активизировались оползневые процессы, деформация и разрушение почвы [3]. Сложные погодные условия, продолжительные полярные зимы, снежный покров затрудняют наблюдения северных территорий в оптическом диапазоне. В то время как спутниковые методы радиолокации независимы от погодных условий, времени суток и снежный покров практически прозрачен для радиоволн. В частности методы радарной интерферометрии продемонстрировали высокую эффективность при обнаружении горизонтальных и вертикальных смещений почвенного покрова сейсмического и техногенного характера, «морозного пучения» влажных и заболоченных участков, подвижек льда и др. [4; 5]

В данной статье представлены результаты обработки радарных изображений ALOS PALSAR (L-диапазон, 23,6 см) и TanDEM-X (X-диапазон, 3,1 см) по северным территориям Ямало-Ненецкого автономного округа и полуострова Ямал в 2007–2012 гг. методами дифференциальной интерферометрии и текстурного анализа.

Оценка вертикальных подвижек методом дифференциальной интерферометрии. По тестовым участкам были подобраны радиолокационные изображения, образующие интерферометрические пары. Методом дифференциальной интерферометрии были сформированы фильтрованные геокодированные интерферограммы и созданы карты распределения вертикальных подвижек между съемками. Например, по полигону Марре-Сале (п-в Ямал) на основе радарных снимков ALOS PALSAR 5 февраля 2008 г.,

28 марта, 28 июня и 13 ноября 2010 г. установлено, что большая часть территории исследования стабильна и локализованы участки проседаний и вспучивания. Участки проседания до 5–6 см расположены вдоль береговой линии, а по центру тестового полигона расположена область с поднятием до 2–3 см по краям и 5–6 см в середине соответственно. В частности опускание верхней и нижней оконечности полуострова, возможно, происходит из-за подтаивания ледовой подложки частей выдающихся в море. Либо из-за перехлестывания волн через эти фрагменты происходит смыв-размыв этих выступающих частей. Центральная зона поднятия соответствует морозному пучению почв вдоль заболоченного русла реки. Поскольку величина морозного пучения почвы пропорциональна средней температуре в зимний период [4], то вертикальное смещение до 6 см могло возникнуть за счет разницы амплитуд пучения зимой 2008 г. и более холодной зимой 2010 г.

Построение ЦМР на основе интерферометрических данных. В настоящее время по северным территориям доступны цифровые модели рельефа (ЦМР) с низким пространственным разрешением порядка 1 км. При исследовании склоновых оползневых процессов, а в дальнейшем при их прогнозировании большое значение имеет информация об особенностях топографии местности. Поэтому одной из задач проводимого исследования стало построение ЦМР. Методика построения заключается в следующем: сначала по первой паре изображений строится «опорная» интерферограмма, которая содержит информацию о рельефе; затем по второй паре строится интерферограмма с вычитанием опорной. При этом отображаются только смещения поверхности без влияния топографии. После чего проводятся стандартные процедуры для расчета карты вертикальных смещений [6]. По тестовому полигону Васькины Дачи п-ва Ямал на основе трех радарных изображений ALOS PALSAR 2007–2010 гг. с разрешением 15 м были построены карты относительных высот и вертикальных смещений. А на основе снимков высокого разрешения TanDEM-X (X-диапазон, 3,1 см) создана высокоточная ЦМР с пространственным разрешением 10 м (см. рисунок).



Цифровая модель рельефа территории п-ва Ямал полученная по паре радиолокационных изображений TanDEM-X 9 ноября 2012 г.

Исследования показали, что для оценки долговременных деформаций наиболее результативны съемки в середине зимы (декабрь–январь) с устоявшимися процессами морозных деформаций. В частности, по тестовому полигону Надым за двухгодичный период были выявлены участки со значительными вертикальными смещениями по пути следования нефтегазопровода.

Локализация долговременных изменений на основе текстурного анализа. Сравнительный анализ сезонных и двухгодичных изменений текстуры радарных изображений показал возможность выявления долговременных изменений ландшафта с оценкой соответствующей вероятности [6]. По тестовому полигону Васькины дачи, где деформационные и оползневые процессы наблюдаются в течение последних 20–30 лет, были выбраны четыре снимка ALOS PALSAR в L-диапазоне (HH) 2007–2009 гг. с разрешением 15 м/пс. По тестовому участку распределение разности сезонных и двухгодичных изменений (РСДИ) оказалось близко к распределению Гаусса. Таким образом, для каждого пикселя изображения РСДИ можно вычислить вероятность того, что сезонные изменения превышают долговременные и наоборот. Следовательно, можно локализовать участки, укладывающиеся в рамки статистических вариаций ($1-2-3\sigma$) с известной вероятностью, а также выявить участки с аномально большой разницей, т. е. с высокой долей вероятности, указывающие на реально произошедшие изменения. Согласно наземным наблюдениям значительных деформационных и оползневых явлений на территории тестового полигона в период между радиолокационными съемками 2007–2009 гг. не происходило, а немногочисленные небольшой площади участки с сильными двухгодичными изменениями располагаются в основном вдоль трасс движения транспорта или соответствуют местам усиленной антропогенной нагрузки.

В результате обработки радиолокационных данных по тестовым полигонам полуострова Ямал и Ямало-

Ненецкого автономного округа: методами дифференциальной интерферометрии построены карты вертикальных смещений; локализованы стабильные области и участки со значительными смещениями; на основе радиолокационных данных высокого разрешения построена высокоточная ЦМР с 10 м разрешением; создана методика выявления наиболее вероятных участков с деформациями поверхности на основе сравнительного анализа сезонных и долговременных изменений текстуры радиолокационных изображений.

Библиографические ссылки

1. Брыксин В. М., Филатов А. В., Евтюшкин А. В. Использование радарных изображений и DINSAR-PSINSAR технологии для мониторинга Западной Сибири и Арктики // Журнал радиоэлектроники. 2012. № 6. С. 1.
2. Дарижапов Д. Д., Кирбижекова И. И., Леонов А. С. Обработка интерферометрических данных, полученных с японского спутника ALOS SAR (радар с синтезированной апертурой) // Вестник ВСГТУ. 2010. № 3. С. 5–9.
3. Лейбман М. О., Кизяков А. И. Криогенные оползни Ямала и Югорского полуострова. М. : Тип. Россельхозакадемии, 2007.
4. Применение спутниковой радарной интерферометрии ALOS PALSAR для картирования ареалов распространения и измерения интенсивности криогенного пучения грунтов / Г. И. Татьков, Т. Н. Чимитдоржиев, М. Е. Быков [и др.] // Инженерные изыскания. 2012. № 9. С. 28–34.
5. Исследование криогенных деформаций грунта в дельте реки Селенга с помощью спутниковой РСА-интерферометрии и наземного георадарного зондирования / Т. Н. Чимитдоржиев, А. И. Захаров, Г. И. Татьков [и др.] // Исследование Земли из космоса. 2011. № 5. С. 58–63.
6. Возможности мониторинга ландшафтных изменений тестовых участков полуострова Ямал на основе текстуры радарных изображений / И. И. Кирбижекова,

Т. Н. Чимитдоржиев, М. О. Лейбман, М. Е. Быков // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса : материалы X Всерос. конф. (12–16 ноября 2012, г. Москва). С. 396–396.

References

1. Briskin V. M., Philatov A. V., Evtushkin A. V. Journal of Radio electronics, 2012, no.6, pp. 1.
2. Darizhapov D. D., Kirbizhekova I. I., Leonov A. S. Bulletin ESSTU, 2010, no. 3, pp. 5–9.

3. Leibman M. O., Kizyakov A. I. Cryogenic landslides Yamal Peninsula and the Ugra. Typography Rosselkhozacademia, Moscow, 2007, 206 p.

4. Tatkov G. I., Chimitdorzhiev T. N., Bikov M. E. [etc.] Engineering survey, 2012, no. 9, pp. 28–34.

5. Chimitdorzhiev T. N., Zakharov T. I., Tatkov G. I. [etc.] Issledovaniya Zemli iz kosmosa, 2011, no. 5, pp. 58–63.

6. Kirbizhekova I. I., Chimitdorzhiev T. N., Leibman M. O., Bikov M. E. All-Russian X Conference «Modern problems of remote sensing of the earth from space», Moscow, IKI RAS, 2012, pp. 396–396.

© Чимитдоржиев Т. Н., Быков М. Е., Лейбман М. О., Дагуров П. Н., Кирбижекова И. И., Дворников Ю. А., Бердников Н. М., 2013

УДК 551.24.03

ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОЙ ПОДВИЖНОСТИ (ДИНАМИКИ) ГЕОБЛОКОВ И РАЗРЫВНЫХ НАРУШЕНИЙ БАЙКАЛЬСКОГО РИФТА МЕТОДАМИ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ

Ц. А. Тубанов¹, Г. И. Татков¹, Т. Н. Чимитдоржиев²

¹Геологический институт Сибирского отделения Российской академии наук
670047, Россия, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6а. E-mail: gin@gin.bscnet.ru

²Институт физического материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук
670047, Россия, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6. E-mail: tchimit@ipms.bscnet.ru

Рассматриваются интерферометрические изображения, полученные по спутниковым данным. Вертикальные движения земной поверхности сопоставлены с кайнозойскими разломами, системой впадин и горстов сухопутного участка рифтовой ступени Среднего Байкала. Тема работы заключается в изучении косейсмических движений связанных с очаговыми структурами Байкальского рифта и примыкающих территорий.

Ключевые слова: радарные спутниковые изображения, землетрясение, Байкальский рифт, неотектонические движения.

ASSESSMENT OF MODERN MOBILITY (DYNAMICS) OF GEOBLOCKS AND FAULTS OF BAIKAL RIFT BY METHODS OF RADAR INTERFEROMETRY

Ts. A. Tubanov¹, G. I. Tatkov¹, T. N. Chimitdorgiev²

¹Geological Institute of Russian Academy of Science, Siberian Branch
6a Sakhyanova st., Ulan-Ude, 670047, Russia. E-mail: gin@gin.bscnet.ru

²Institute of Physical Materials Science of Russian Academy of Science, Siberian Branch
8 Sakhyanova st., Ulan-Ude, 670047, Russia. E-mail: tchimit@ipms.bscnet.ru

Interferometric images obtained on satellite data are considered. Vertical movements of the Earth surface are compared with Cainozoic faults, system of depressions and horsts of onshore of Middle Baikal rift stage. Theme of work is to study the co-seismic movements associated with focal structures of Baikal rift and adjacent areas.

Keywords: radar satellite images, earthquake, Baikal rift, neotectonic movements.

Данные по катастрофическому японскому землетрясению Тохоку (2011 г.) свидетельствуют о том, что спутниковые измерения являются практически единственным источником прямой информации о косейсмических движениях земной поверхности. Оценка современной подвижности геоблоков и разрывных

нарушений методами радиолокационной интерферометрии на территории Байкальской рифтовой зоны осложняется расположением эпицентров землетрясений непосредственно в акватории озера Байкал. Все известные землетрясения в районе Среднего Байкала (26 мая 1939 г. MLH = 6,0, 4 июня 1939 г. MLH = 5,0,