

Таким образом, сезонные изменения процессов рассеяния в лесной среде в зависимости от породного состава леса отражаются на изменениях поляриметрических характеристик, а также доминировании объемной и поверхностной компонент рассеяния на радиолокационных снимках L-диапазона. Сохранение или смена доминирующей роли объемной и поверхностной компонент в совокупности с другими поляриметрическими характеристиками может служить индикатором хвойных и лиственных пород и возможности их картографирования на основе радарных данных.

Библиографические ссылки

1. Manual of Remote Sensing. Principles and Applications of Imaging radar Manual / by ed. R. A. Ryerson. Vol. 2. 1998. P. 865.
2. Кирбижекова И. И., Батуева Е. В., Дарижапов Д. Д. Поляриметрические свойства природных объектов на радарных изображениях Байкальского региона // Журнал радиоэлектроники. № 10. С. 85–94.
3. Козлов А. Л., Логвинов А. И., Сарычев В. А. Радиолокационная поляриметрия. Поляризация структура радиолокационных сигналов. М.: Радиотехника. 2007.
4. Чимитдоржиев Т. Н. Некоторые результаты анализа гибридной поляриметрии ALOS PALSAR // Исследование Земли из космоса. 2010. № 6. С. 59–62.
5. Cloude S. R., Pottier E. An Entropy-Based Classification Scheme for Land Applications of Polarimetric SAR // IEEE Trans GRS. 1997. Vol. 35 (1). P. 68–78.
6. Freeman A., Durden S. T. A Three-Component Scattering Model for Polarimetric SAR Data // IEEE Trans. GRS. 1998. Vol. 36 (3). P. 963–973.

7. Захарова Л. Н., Захаров А. И. Динамика поляриметрических свойств естественных покровов на разнотемпературных данных ALOS PALSAR // Журнал радиоэлектроники. № 10. С. 39–45.

8. Кирбижекова И. И., Батуева Е. В. Исследования сезонных изменений лесных массивов по данным ALOS PALSAR // Известия вузов. Физика. 2012. Т. 55, № 8/2. С. 270–271.

References

1. Manual of Remote Sensing. Principles and Applications of Imaging radar Manual. R. A. Ryerson editor-in-chief. USA. Vol. 2. 1998. P. 865.
2. Kirbizhekova I. I., Batueva E. V., Darizhapov D. D. Journal Radioelectronici, 2010, no. 10, pp. 85–94.
3. Kozlov A. L., Logvinov A. I., Sarichev V. A. Radiolokatsionnaya polyarimetriya. Polyarizatsionnaya struktura radiolokatsionnykh signalov (Radar polarimetry. Polarization structure of radiolocation signals). Moscow, Radiotekhnika, 2007, 640 p.
4. Chimitdorzhiev T.N. Issledovaniya Zemli iz kosmosa, 2010, no 6, pp. 59–62.
5. Cloude S. R. and Pottier E. An Entropy-Based Classification Scheme for Land Applications of Polarimetric SAR//IEEE Trans GRS. 1997. Vol. 35 (1). P. 68–78.
6. Freeman A. and Durden S.T. IEEE Trans. GRS, 1998, Vol. 36 (3), pp. 963–973
7. Zakharova L. N., Zakharov A. I. Journal Radioelectronici, 2010, no 10, pp. 39–45.
8. Kirbizhekova I. I., Batueva E. V. Izvestia Vuzov. Physics, 2012, vol.55, no 8/2, pp. 270–271.

© Кирбижекова И. И., Батуева Е. В., 2013

УДК 551.321+550.837.76

ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ ЛЕДОВОГО ПОКРОВА ОЗЕРА БАЙКАЛ ПО РАДАРНЫМ ДАННЫМ И МЕТОДАМИ GPS-НАВИГАЦИИ*

Т. Н. Чимитдоржиев¹, Г. И. Татьков², Ц. А. Тубанов², П. Н. Дагуров¹, А. И. Захаров³,
И. И. Кирбижекова¹, А. В. Дмитриев¹, М. Е. Быков¹

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

²Геологический институт Сибирского отделения Российской академии наук
Россия, 670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6а. E-mail: gin@gin.bscnet.ru

³Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники
имени В. А. Котельникова Российской академии наук
Россия, 141190, Фрязино Московской области, площадь им. акад. Б. А. Введенского, 1.
E-mail: ludmila@sunclass.ire.rssi.ru

Представлены результаты исследований деформаций и динамики ледового покрова озера Байкал на основе радиолокационных данных и наземных GPS-измерений. Методами спекл-интерферометрии определены значения и направления горизонтальных смещений ледовых массивов в южной котловине и в окрестностях п-ва Святой хороши согласующиеся с наземными GPS-измерениями.

Ключевые слова: спекл-интерферометрия, текстурный анализ, GPS-измерения.

* Исследования выполнены при поддержке Междисциплинарного проекта СО РАН № 73 «Изучение закономерностей и механизмов сейсмостектонических процессов в земной коре методами физического моделирования на ледовом покрове озера Байкал». Радарные данные ALOS PALSAR получены по гранту Японского аэрокосмического агентства 09/JAXA/AEO № 0223001 «Study of topography and geology of Baikal region using optical and radar ALOS data».

RESEARCH OF LAKE BAIKAL ICE COVER DYNAMICS ON THE BASIS OF RADAR DATA AND GPS-NAVIGATION METHODS

T. N. Chimitdorzhiev¹, G. I. Tatkov², Zh. A. Tubanov², P. N. Dagurov, A. I. Zakharov³,
I. I. Kirbizhekova¹, A. V. Dmitriev¹, M. E. Bikov¹

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

²Geological Institute of Russian Academy of Science, Siberian Branch
6a Sakhyanova st., Ulan-Ude, 670047, Russia. E-mail: gin@gin.bsnet.ru

³Fryazino Branch of the Institute of Radioengineering and Electronics of Russian Academy of Science,
1 Vvedensky square, Fryazino, Moscow Region, 141190, Russia. E-mail: ludmila@sunclass.ire.rssi.ru

The results of studies of deformation and dynamics of the ice cover of Lake Baikal on the basis of radar data and ground-based GPS-measurements. Speckle interferometry method determined the values and directions of the horizontal displacements of ice massifs in the southern basin and around peninsula Svyatoi, which are in good agreement with ground-based GPS-measurements.

Keywords: speckle interferometry method, texture analysis, GPS-measurements.

С 2006 г. ледовый покров озера Байкал стал моделью для исследования закономерностей деформационных и сейсмических процессов в литосфере [1]. В рамках интеграционного научного проекта на льду проводились комплексные экспериментальные и теоретические исследования, включая инструментальный мониторинг абсолютных и относительных перемещений структурных блоков различного ранга, деформаций хрупкого поверхностного слоя фрагментов ледового покрова, а также сейсмической и акустической активности [2]. Основная цель исследований – выявление и статистический анализ взаимосвязи механизмов деформации различного ранга и их дальнейшее использование для обсуждения проблемных вопросов геомеханики, геофизики и тектоники.

Для составления непрерывной, пространственной картины деформаций на основе локальных «наземных» наблюдениях были привлечены радиолокационные данные дециметрового и сантиметрового диапазона ALOS PALSAR 2008–2011 гг. и RADARSAT 2012 г.

Динамика блочной структуры ледового покрова на основе текстурного анализа. Структура трещин, ледовых плит и блоков отчетливо прослеживается на радарных изображениях. Сравняя текстурные характеристики снимков за последовательные даты можно получить представление о процессах формирования, разрастания и «залечивания» трещин. Для количественного анализа была отработана методика выделения векторных слоев на базе алгоритмов классификации массива текстурных характеристик для каждого снимка с последующим сравнением кластеров со схожими характеристиками. Сравнение блочных структур за разные даты из-за сложного поступательно-вращательного движения отдельных льдин, а также вследствие изменений размеров и формы отдельных блоков вплоть до дефрагментации или наоборот, срастания соседних блоков не позволило провести оценку горизонтальных смещений. Более результативными оказались исследования структурных изменений трещин ледового покрова [3]. Таким обра-

зом методы текстурного анализа эффективны для фиксации отдельных этапов формирования, разрастания или «залечивания» трещин.

Исследование динамики ледового покрова методами радарной интерферометрии. Для оценки горизонтальных и вертикальных подвижек ледовых плит был применен метод дифференциальной интерферометрии [4; 5]. Вследствие низкой когерентности, вероятно вызванной значительным временным интервалом между съемками (46 дней для ALOS PALSAR и 24 дня для RADARSAT) и сильного изменения ледовой обстановки по тестовым участкам ожидаемые результаты не были получены [3].

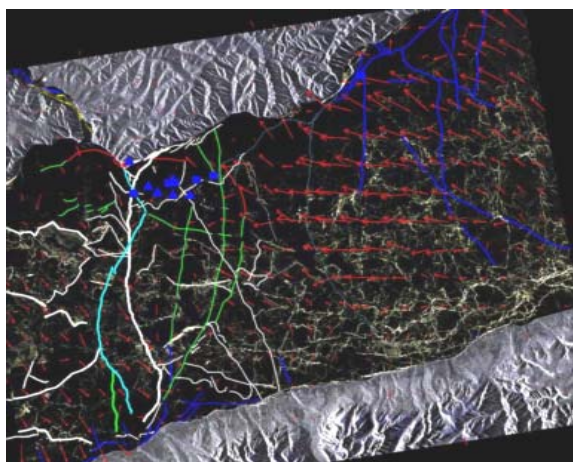
При смещениях льда зачастую происходит некогерентное смещение соседних рассеивателей в пределах одного пикселя и относительно других пикселей – элементов пространственного разрешения радара. Вследствие чего когерентность радарной интерферометрической пары снижается и использование метода дифференциальной интерферометрии может привести к большой погрешности измерений. В подобных случаях принято использовать метод спекл-интерферометрии, часто именуемый в иностранной литературе «offset-tracking procedure» или «speckle-tracking method», заключающийся в расчете кросс-корреляции малых фрагментов радарных изображений поверхности льда. Установленные направления и амплитуды перемещений отдельных фрагментов ледового покрова, вычисленных методом спекл-интерферометрии парам радарных снимков 2009–2011 гг. представлены на рис. 1, 2.

Субширотная область хрупких деформаций шириной от мыса Лиственничного до Больших Котов на северном берегу и от пос. Выдрино до пос. Танхой на южном берегу приурочена в 2010 г. к зоне конвергенции двух крупных ледовых массивов, один из которых, «Восточный» дрейфует с востока на запад (возможно под действием ветра Баргузина или подледного течения от р. Селенги к р. Ангаре). Другой, «Западный» смещается в юго-восточном направлении (рис. 1, а). Во фронтальной части Западного блока, вдоль южного побережья озера образовалась протяженная

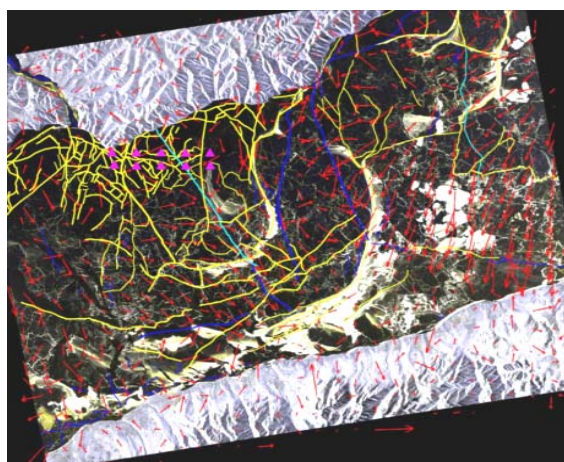
система становых трещин. Амплитуды перемещений внутри ледового массива «Западный» нарастают в северо-восточном направлении и резко затухают в прибрежной части. Для массива «Восточный» характерно нарастание амплитуд подвижек в западном направлении. В тыловой части массива образовались многочисленные трещины растяжения. В пределах выделенной зоны конвергенции субширотного направления, ограниченной серией становых трещин, амплитуды перемещений резко снижаются, распределение направлений близко к хаотическому, что свидетельствует о сложно-напряженном состоянии зоны конвергенции. В 2011 г. вследствие более теплой зимы и формирования более тонкого ледового панциря возникли отличия деформаций ледового поля в целом по тестовому участку и отличий направлений и амплитуд смещений (рис. 1, б).

Оценка горизонтальных подвижек наземными GPS-измерениями. В марте 2010–2012 гг. были проведены наземных GPS измерения перемещений опор-

ных точек, жестко закрепленных на ледовом покрове в районе п. Листвянка и п. Боярск. Несмотря на достаточно высокие суточные смещения амплитудами до 2–3 м, наблюдаемые в отдельных точках ледового покрова, общие перемещения отдельных точек за период наблюдений (7–10 дней) оказались менее 1 м. При анализе траекторий смещений всех пунктов GPS во многих случаях в течение одного дня наблюдался возврат реперных точек к почти исходному положению. Вектор движения после 12 ч нередко менялся на обратный. Возможно, что ледяные поля, слегка изогнутые деформациями в результате термических напряжений, распрямляются; при этом GPS измерения фиксируют обратные деформации. Эти особенности траекторий движений относительно базовой береговой точки можно вслед за предшественниками интерпретировать как проявление некоей квазиупругой отдачи ледяной пластины после предшествующего «регионального» сжатия и порожденного им смещения

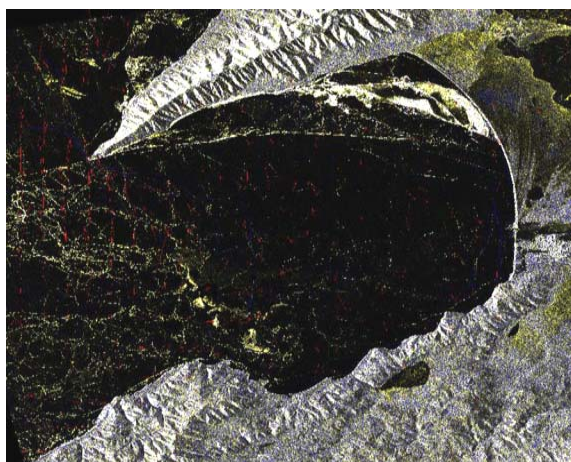


а

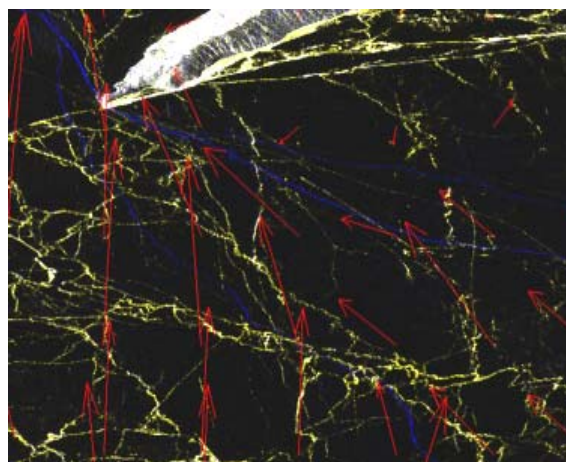


б

Рис. 1. Динамика ледового покрова для тестового участка Листвянка по результатам спекл-интерферометрии данных ALOS PALSAR:
а – 21.01.2010–08.03.2010; б – 24.01.2011–11.03.2011.



а



б

Рис. 2. Динамика ледового покрова для тестового участка Максимиха по результатам спекл-интерферометрии данных ALOS PALSAR:
а – 20.01.2009–07.03.2009; б – фрагмент

с последующей релаксацией напряжений. Выполненные GPS наблюдения подтверждают сделанные ранее выводы о преимущественно термальном механизме инициации деформирования ледового покрова Байкала. Для полевых измерений использовались спутниковые геодезические приемники HiPer Topcon и Trimble R3.

В целом, оценки перемещений – дрейфа ледового покрова, интерферометрическими методами хорошо согласуются с данными подспутниковых GPS измерений. Сравнение наземных наблюдений со спутниковыми данными показало, что активные деформационные процессы происходят не только на границах крупных блокоразделов ледового покрова оз. Байкал, но и во всем его объеме, вследствие внутривблоковой фрагментации ледовых пластин, находящихся в сложном напряженном состоянии.

Библиографические ссылки

1. Ледовый покров озера Байкал как модельная среда для изучения тектонических процессов в земной коре / Н. Л. Добрецов, С. Г. Псахье, В. В. Ружич [и др.] // ДАН. 2007. Т. 412, № 5. С. 656–660.
2. Деформации и сейсмические явления в ледяном покрове озера Байкал / В. В. Ружич, С. Г. Псахье, Е. Н. Черных [и др.] // Геология и геофизика. 2009. Т. 50, № 3. С. 289–299.
3. Результаты исследований динамики ледового покрова озера Байкал методами спутниковой радиолокации ALOS PALSAR и GPS-навигации / И. И. Кир-

бижекова, Т. Н. Чимитдоржиев, Ц. А. Тубанов [и др.] // Вестник БНЦ СО РАН. 2012. № 1 (5). С. 42–59.

4. Использование данных PALSAR при выполнении геодинимического мониторинга нефтегазовых месторождений / А. В. Евтюшкин, А. В. Филатов, Ю. В. Васильев [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2010. Т. 7, № 2. С. 122–128.

5. Использование данных радиолокационной интерферометрии ALOS PALSAR и георадарного зондирования для исследования криогенных деформаций грунтов / Т. Н. Чимитдоржиев, В. Б. Хаптанов, А. И. Захаров [и др.] // Журнал радиоэлектроники. 2010. № 4. С. 172–181.

References

1. Dobretsov N. L., Psakhie S. G., Rugich V. V. [etc.] DAN, 2007, Vol. 412, no. 5, pp. 656–660.
2. Rugich V. V., Psakhie S. G., Shernikh E. N. [etc.] Geologiya i geophysika. 2009, Vol. 50, no. 3, pp. 289–299.
3. Kirbizhekova I. I., Chimitdorzhiev T. N., Tubanov T. A. [etc.]. Vestnik BNS SO RAN, 2012, no. 1 (5), pp. 42–59.
4. Evtuchkin A. V., Philatov A. V., Vasilev U. V. [etc.] Sovremennye problemi distanzhinnogo zondirovania Zemli iz kosmosa. 2010, Vol. 7, no. 2, pp. 122–128.
5. Chimitdorzhiev T. N., Naptanov V. B., Zakharov A. I. [etc.] Gurnal radioelectroniki. 2010, no. 4, pp. 172–181.

© Чимитдоржиев Т. Н., Гатьков Г. И., Тубанов Ц. А., Дагуров П. Н., Захаров А. И., Кирбижекова И. И., Дмитриев А. В., Быков М. Е., 2013

УДК 528.85

МОНИТОРИНГ АГРАРНЫХ РЕСУРСОВ ПО РАЗНОВРЕМЕННЫМ ДАННЫМ ERS-2\SAR*

А. В. Евтюшкин¹, В. М. Брыксин¹, Н. В. Рычкова²

¹Балтийский федеральный университет имени И. Канта
Россия, 236041, Калининград, ул. А. Невского, 14. E-mail: AYEvtuyushkin@kantiana.ru

²Барнаулский юридический институт
Россия, 656038, Барнаул, ул. Чкалова, 49. E-mail: polkovnik@buiimvd.ru

Показаны особенности распознавания видового состава зерновых культур при анализе многовременных радарных изображений ERS-2. Архитектура растений и проективное покрытие почвы существенно отличаются для различных культур, как в период активного роста, так и во время увядания листьев, что повышает возможность разделения культур на радарных снимках. Для устранения погрешностей динамического моделирования продуктивности культур предлагается выполнять коррекцию листового индекса по спутниковым данным.

Ключевые слова: ERS-2, SAR, радар, MODIS, посевы культур, LAI, EPIC.

* Работа выполняется при частичной финансовой поддержке РФФИ по гранту 13-07-00419.