

УДК 528.85

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ PSINSAR-ТЕХНОЛОГИИ НА КЛАСТЕРЕ ДЛЯ ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ\*

А. В. Филатов<sup>1</sup>, В. М. Брыксин<sup>1</sup>, А. В. Евтюшкин<sup>1</sup>, Ю. В. Васильев<sup>2</sup>, А. Ю. Белоносов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Балтийский федеральный университет имени И. Канта  
Россия, 236041, Калининград, ул. А. Невского, 14. E-mail: AnFilatov@kantiana.ru

<sup>2</sup>Западно-Сибирский филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики  
имени А. А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук  
Россия, 625670, Тюмень, ул. Володарского, 56. E-mail: radan92@list.ru

*Представлены результаты интерферометрической обработки многолетних данных радара PALSAR. Мониторинг просадок земной поверхности с образованием мульд оседания проводился на нефтегазовых месторождениях в Западной Сибири. Рассмотрены преимущества реализации метода PSI в среде MatLab на высокопроизводительном суперкомпьютерном кластере.*

*Ключевые слова: ALOS, PALSAR, радиолокационная интерферометрия, геодинамический полигон, просадки, вычислительный кластер.*

## USE OF PSINSAR TECHNIQUE ON COMPUTING CLUSTER FOR GEODYNAMIC MONITORING OF OIL AND GAS FIELDS

A.V. Filatov<sup>1</sup>, V. M. Bryksin<sup>1</sup>, A. V. Yevtyushkin<sup>1</sup>, Yu. V. Vasiliev<sup>2</sup>, A. Yu. Belonosov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Baltic Federal University named after I. Kant  
14 Nevskiy st., Kaliningrad, 236041, Russia. E-mail: AnFilatov@kantiana.ru

<sup>2</sup>West Siberian Division of the Institute of Petroleum Geology and Geophysics named after A.A. Trofimuk  
of Russian Academy of Sciences, Siberian Branch  
56 Volodarskiy st., Tyumen, 625670, Russia. E-mail: radan92@list.ru

*The results of the interferometric processing of multi-time data of radar PALSAR are presented. Monitoring of subsidence of the earth surface with subsidence mould formation was performed on the oil and gas fields in Western Siberia. The advantages of PSI method implementation in MatLab package on a high supercomputing cluster are considered.*

*Keywords: ALOS, PALSAR, radar interferometry, geodynamic polygon, subsidence, supercomputing cluster.*

Проблеме сопоставления спутниковых радарных интерферометрических и наземных геодезических измерений для контроля сложных геодинамических процессов на разрабатываемых месторождениях в последние годы уделяется большое внимание [1–2]. Накопление большого числа повторных съемок с радарных спутников привело к росту разработок научных и коммерческих пакетов интерферометрической обработки на основе метода интерферометрии устойчивых отражателей Persistent Scatterers Interferometry (PSI) [3]. При обработке в пакете GAMMA данных радара TerraSar-X на район образования мульды оседания на затопленном калийном руднике были выявлено значительное снижение производительности расчетов при увеличении числа съемок [1].

Для повышения производительности интерферометрических расчетов предлагается использовать сво-

бодно распространяемый программный пакет StaMPS (Stanford Method for Persistent Scatterers). StaMPS прошел длительную апробацию у исследователей, использующих результаты обработки спутниковых радиолокационных данных при решении широкого спектра прикладных задач. Ранее авторами статьи основная вычислительная часть программного комплекса StaMPS была реализована при помощи математического окружения MatLab путем распараллеливания для расчетов на высокопроизводительном кластере DELL Power Edge M600Server [4]. Достигнуто увеличение производительности до 10–12 раз. Тестирование методики для расчета подвижек земной поверхности выполнялись по данным ALOS-1/PALSAR на территории Губкинского и Сомотлорского месторождений [5].

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

Самотлорское месторождение нефти открыто в 1965 г. и введено в разработку в 1969 г. По состоянию на 1.01.2013 г. из недр месторождения накопленная добыча жидкости составила 11 597 772,9 тыс. т (за 2012 г. 323 541,2 тыс. т), в том числе накопленная добыча нефти составила 2 374 768,1 тыс. т нефти (за 2012 г. 17 444,9 тыс. т). Для получения такого результата закачено 13 430 082,4 тыс. м<sup>3</sup> рабочего агента (подземных, поверхностных и сточных вод). Кроме того, добыто попутного газа 5 382 104 тыс. м<sup>3</sup>. Общий фонд скважин составляет 15 508 (7 952 добывающих и 3 253 нагнетательных) единиц. Площадь горного отвода лицензионного участка ОАО «СНГ» составляет 1 674,74 км<sup>2</sup>. Такая техногенная нагрузка (почти 10 скважин на 1 км<sup>2</sup> площади) инициирует проявление геодинамических процессов природно-техногенного генезиса, которые формируют деформационные, сейсмические и флюидодинамические изменения в недрах.

В результате интенсивной и долговременной эксплуатации месторождения за 40-летний период пластовые давления в 11 основных продуктивных пластах снизились до 22,7 атмосфер (по группе АВ) и до 53,7 атмосфер (по группе БВ). Быстрое падение пластовых давлений (на начальном этапе разработки в упругом режиме пластовых условий) создает предпосылки для обводнения продуктивных толщ и усложняет технологию нефтедобычи. Притоки пластовых вод в залежь идут как снизу по вертикали, так и сбоку по латерали. При изменении гидрогеодинамических условий неизбежна перестройка напряженно-деформационного состояния массива горных пород, которое, в основном, сопровождается увеличением размеров трещин и изменением напряжений в жестком минеральном скелете коллекторской толщи. При использовании систем поддержания пластового давления (ППД) и гидроразрыва пласта (ГРП) на месторождении происходит увеличение фильтрационно-емкостных свойств пород-коллекторов и повышение нефтеотдачи, с одной стороны, и появлению техногенной трещиноватости, с другой.

Толщи пород этажа нефтегазоносности на Самотлорском месторождении испытывают техногенное воздействие, что зафиксировано также косвенным путем – по изменению уровней вод в отдельных скважинах. Научно-практический опыт прогноза и регистрации осадок земной поверхности при долговременной добыче углеводородного сырья свидетельствует о том, что величина оседания так или иначе увязывается с величиной уплотнения коллектора. Именно деформирование порового пространства и минерального скелета коллекторов, вследствие падения пластовых давлений, является основной причиной самого уплотнения и деформаций окружающих пород.

Анализ данных геодезических измерений на геодинамическом полигоне за период 2002 по 2012 гг. свидетельствует о том, что система недр месторождения из-за долговременной и интенсивной разработки нефти, газа, формирует «раскаченную» гидродинамическую систему, что в свою очередь создает условия для пульсационного характера напряженно-деформи-

рованного состояния пород коллекторов из-за применения системы ППД и ГРП. Кроме того, на техногенное влияние в формировании мульды оседания накладывается природный фактор гравитационного поля Земли и регионального поля тектонических напряжений. Поэтому причиной образования мульды оседания земной поверхности являются геодинамические процессы природно-техногенного генезиса.

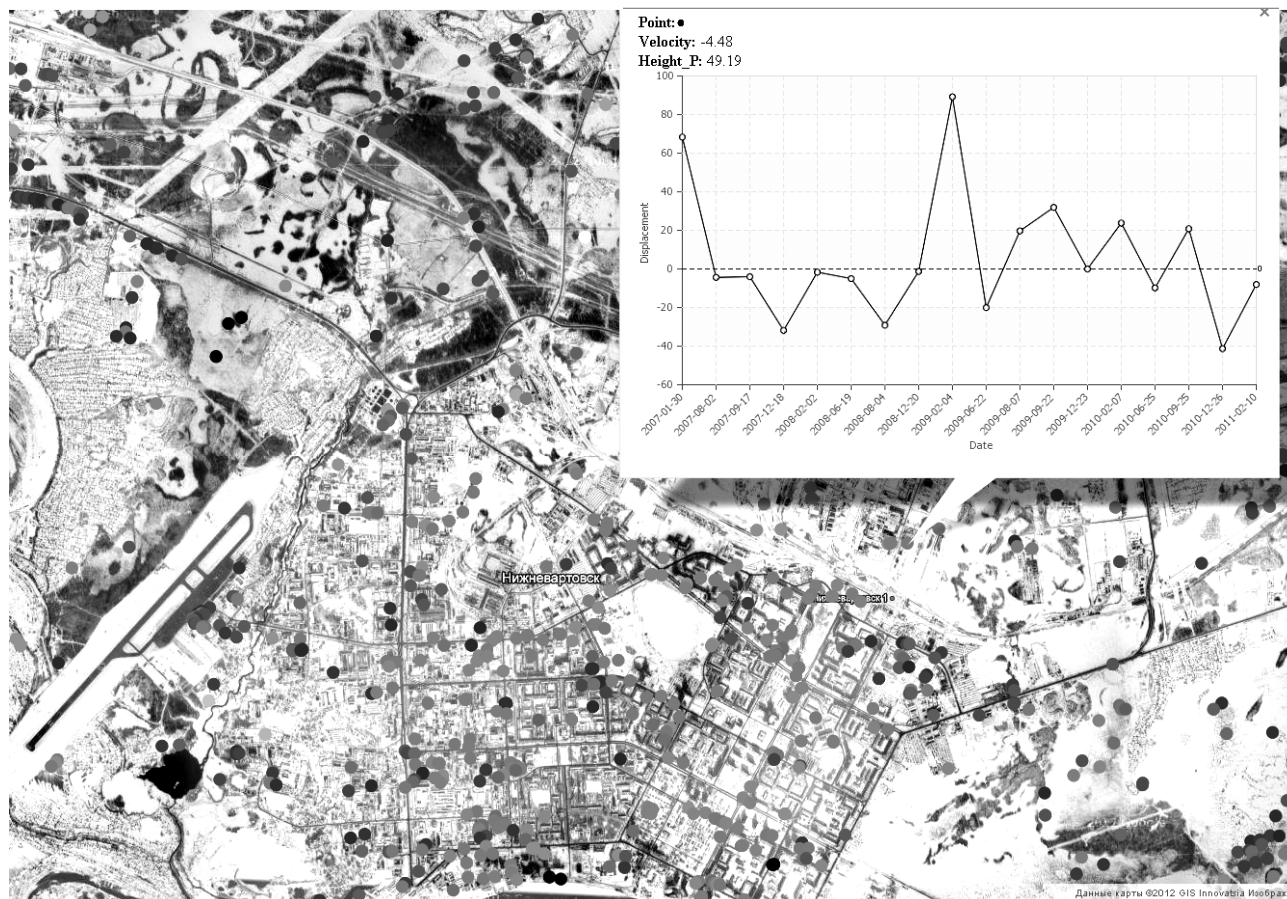
Интерактивное облако точек, соответствующих стабильным отражающим объектам, для которых рассчитаны скорости смещений приведено на рисунке. Результаты получены при обработке 18 разновременных кадров ALOS/PALSAR на территорию Самотлорского нефтяного месторождения. Установлено, что скачки значений смещений для отдельных дат радиолокационных съемок вызваны значительным разбросом длин базовых линий (от –8886 до +4688 м), присутствующим для спутника ALOS. Компонента интерферометрической фазы, содержащая высоты отражающих объектов, прямо пропорциональна длине перпендикулярной базовой линии. Поэтому причиной возникающей погрешности является неполное устранение высотной составляющей интерферометрической фазы.

Для территории Самотлорского месторождения проведена проверка точности расчета смещений на основе совместного анализа результатов обработки в пакете StaMPS на кластере и материалов наземных измерений на 86 заглубленных реперах Самотлорского геодинамического полигона. Средняя точность расчета скорости вертикальных смещений устойчивых техногенных отражающих объектов составила 4 мм/год.

Анализ схемы накопленных отборов нефти с начала разработки Самотлорского месторождения на 01.01.2013 г. и последующего совмещения с изолиниями наблюдаемых значений сил тяжести Земли за период 2002–2012 гг., свидетельствует о высокой корреляционной связи деформационных процессов с добычей углеводородов и изменением гравитационного поля Земли. Мульда оседания земной поверхности на Самотлорском месторождении находится в стадии активного переформирования из-за высокоскоростных гидродинамических и гравитационных процессов происходящих при интенсивной добыче углеводородов.

Кластеризация точек сгущений максимальных скоростей устойчивых отражателей, рассчитанных по радарным данным, хорошо совпадает с зонами максимальных просадок в мульде оседания и областей поднятий на краю мульды. Это дает предпосылки для обнаружения зон геодинамического риска на основе анализа цифрового поля скоростей смещений и диаграмм временных рядов смещений, усредненных для сгруппированных точек. Необходимо выделить районы, содержащие близкорасположенные группы объектов, движущиеся разнонаправленно и имеющие высокую среднегодовую скорость смещений.

Спутниковые данные ALOS/PALSAR предоставлены Японским агентством аэрокосмических исследований по некоммерческим грантам 07/JAXA/ASP № 0704001 PI 405 и 09/JAXA/AEO № 022300 PI-563.



Динамика смещений техногенного отражающего объекта за 2007–2011 гг.

### Библиографические ссылки

1. Определение зон сдвижений на проработанной территории Верхнекамского месторождения калийных солей (ВКМКС) по результатам интерферометрической обработки радарных данных / И. А. Лысков, В. В. Мусихин, Ю. А. Кашников, М. В. Гилеев // Маркшейдерский вестник. 2011. № 3. С. 34–39.

2. Елсаков В. В. Спутниковая съемка в экологическом мониторинге регионов добычи углеводородов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9, № 5. С. 133–139.

3. Hooper A. Persistent scatterer radar interferometry for crustal deformation studies and modeling of volcanic deformation // Ph. D. thesis, Stanford University, 2006.

4. Евтюшкин А. В., Брыксин В. М., Филатов А. В. Метод интерферометрии устойчивых отражателей в среде MatLab на высокопроизводительном кластере // Вестник Балт. федер. ун-та им. И. Канта. 2012. № 10. С. 146–152.

5. Использование метода интерферометрии устойчивых отражателей при геодиническом мониторинге Самотлорского месторождения / А. В. Филатов, А. В. Евтюшкин, В. М. Брыксин и др. // Маркшейдерский вестник. 2012. № 4. С. 57–62.

### References

1. Lyskov I. A., Musihkin V. V., Kashnikov Yu. A., Gileev M. V. Markscheiderski vestnik, 2011. no. 3. pp. 34–39.

2. Elsakov V. V. Sovremennye problem distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. 2012. Vol. 9, no. 5, pp.133–139.

3. Hooper A. Persistent scatterer radar interferometry for crustal deformation studies and modeling of volcanic deformation // Ph.D. thesis, Stanford University, 2006. 144 p.

4. Yevtyushkin A. V, Bryksin V. M., Filatov A. V. Vestnik IKBFU. 2012, no. 10, pp. 146–152.

5. Filatov A. V., Yevtyushkin A. V, Bryksin V. M., Vasiliev Yu. V., Yuriev M. L., Belonosov A. Yu. Markscheiderski vestnik, 2012, no. 4, pp. 57–62.

© Филатов А. В., Брыксин В. М., Евтюшкин А. В., Васильев Ю. В., Белоносов А. Ю., 2013