

## **Взаимная калибровка радаров PALSAR и PALSAR-2 с помощью протяжённых естественных отражателей**

А. И. Захаров, Л. Н. Захарова, М. В. Сорочинский, В. П. Синоло, Е. Е. Иванычев

*Фрязинский Институт радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН, 141190, пл. Введенского, 1, Фрязино, Московская область, aizakhar@sunclass.ire.rssi.ru*

*Проведен анализ долговременной стабильности и сделаны оценки отражательных свойств порядка 200 нефтяных платформ у побережья Каспия по данным радиолокационной съемки японского космического радиолокатора с синтезированной апертурой (РСА) PALSAR. Полученные измерения использованы для взаимной калибровки РСА PALSAR и PALSAR-2. По результатам взаимной калибровки показано систематическое занижение отражательных характеристик поверхности по данным PALSAR-2.*

*An analysis of 200 oil platforms long-term stability in Caspian Sea seen on Japanese synthetic aperture radar PALSAR images was performed. The measurements made were used for intercalibration of PALSAR and PALSAR-2 radar systems. According to intercalibration results we may state underestimation of surface scattering properties on PALSAR-2 images.*

Радиометрическая стабильность радиолокатора с синтезированной апертурой (РСА) является важным показателем качества его работы, её оценка является важной составляющей процедуры радиометрической калибровки. В ряде отечественных работ проводилась попытка использовать различные естественные точечные и протяженные объекты для радиометрической калибровки [1–4]. Эффективная площадь рассеяния (ЭПР) таких объектов, как правило, не может быть посчитана исходя из модельных представлений, но она может быть оценена по измерениям других сенсоров с аналогичными параметрами, проводивших измерения в подобной геометрии съемки, что позволяет проводить интеркалибровку, а также мониторинг стабильности работы РСА. В данной работе показана возможность использования для радиометрической калибровки и интеркалибровки космических РСА с помощью морских нефтяных платформ в районе месторождения «Нефтяные камни» на Каспии.

Исходным калибровочным материалом для исследования радиометрических свойств платформ в данной работе были данные японского космического РСА L-диапазона PALSAR, проводившего регулярную съемку области интереса в период с 2006 по начало 2011 г. PALSAR — это поляриметрический радар с фазированной антенной решеткой, работавший на орбите высотой 690 км. Режимы работы радара заложены съемки на различных комбинациях поляризации сигнала на излучении/приеме, с набором разрешений по дальности при углах обзора 7–50°. В данной работе использованы снимки, полученные в режимах FBS34.3 и FBD34.3. Угол обзора при работе РСА в этих режимах равен 34.3°, разрешение по дальности в первом случае равно 4.68 м, а во втором — 9.36 м. В первом режиме съемка проводилась при излучении сигнала на Н поляризации с приемом сигнала на согласованной Н поляризации, в другом режиме принимались сигналы на согласованной (Н) и ортогональной (V) поляризациях. В соответствии с глобальным планом съемок Японского аэрокосмического агентства, первый режим съемки использовался преимущественно в зимнее время года.

Нефтяная платформа — сложное громоздкое сооружение. Размеры типовой платформы на месторождении «Нефтяные камни» 80×100 м. Высота платформы с учетом буровой вышки достигает 80 метров. На рис. 1 приведен фотоснимок, а на рис. 2 дан фрагмент радиолокационного изображения с предельным разрешением

(формат SLC) группы нефтяных платформ на месторождении «Нефтяные камни» на Каспии. Платформы на этом рисунке смотрятся яркими точками на фоне водной поверхности. Кривые белые линии, тянущиеся от берега в море — эстакады.

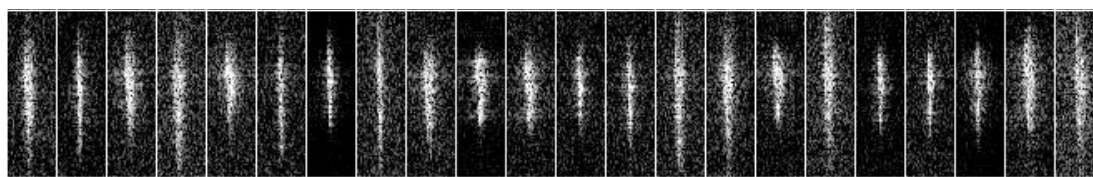


**Рис. 1. Фотоснимок морской нефтяной платформы на Каспии**

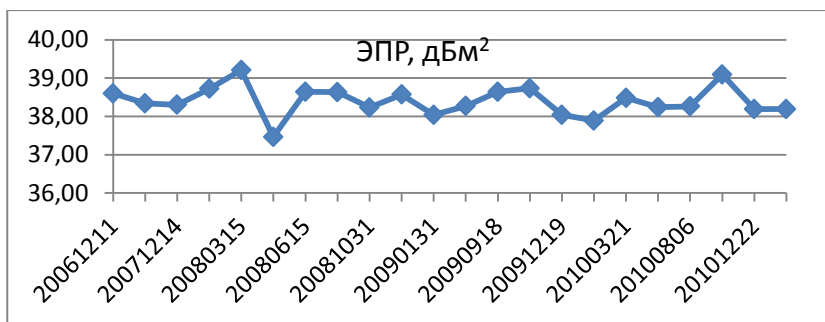


**Рис. 2. Радарный снимок скопления нефтяных платформ в районе «Нефтяных камней»**

ЭПР платформ как протяженных целей вычислялась путем интегрирования отраженного сигнала в прямоугольнике размером 80 пикселей по азимуту на 20 пикселей по дальности. На рис. 3 приведены фрагменты изображения одной и той же платформы на 22 снимках, покрывающих интервал 4 года. Вследствие неодинакового разрешения на радарном изображении по дальности и азимуту цель выглядит эллипсом, вытянутым в азимутальном направлении. На снимках с пониженным разрешением по дальности цель оказывается более узкой. ЭПР данной платформы на НН поляризации равна  $38.4 \text{ дБм}^2$ , стабильность уровня отражения 0.38 дБ, график ЭПР приведен на рис. 4 ниже.



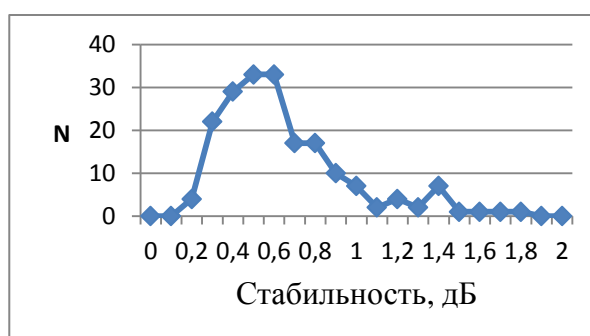
**Рис. 3. 22 фрагмента изображения одной из нефтяных платформ на интервале 4 года**



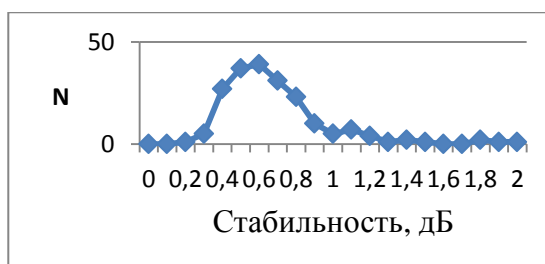
**Рис. 4. Пример графика ЭПР стабильно отражающей нефтяной платформы на интервале 4 года**

Необходимо отметить, что уровень отражения практически не меняется в течение года, он приблизительно одинаков в разных метеоусловиях, взволнованности морской поверхности, а также при различных значениях разрешения РСА по дальности, использовавшихся в течение 4 лет. Похожие результаты по стабильности получены нами также при анализе отражений нефтяных платформ на перекрестной поляризации, хотя уровень отражения в этом канале РСА на 8-10 дБ ниже.

В работах [5,6] приводилось распределение платформ по стабильности отражения в результате анализа 22 снимков РСА PALSAR. Было показано, что среди 200 изученных платформ 80 имеют стабильность отражения на согласованной горизонтальной поляризации НН не хуже 0.5 дБ, причем стабильность 13 платформ не хуже 0.3 дБ. На следующих рисунках 5 и 6 приведены гистограммы стабильности отражения платформ на НН и НV поляризациях, полученные в результате анализа 9 сеансов съемки PALSAR в режиме FBD с датами съемки 20070613, 20080430, 20080615, 20080915, 20090618, 20090918, 20100506, 20100806 и 20101106. На графиках видно, что более 80 платформ имеют стабильность отражения лучше 0.6 дБ и на НН, и на НV поляризациях. По вертикальной оси отложено количество платформ с данным уровнем стабильности, по горизонтальной – стабильность отражения в децибелах.



**Рис. 5. Гистограмма распределения 200 нефтяных платформ в зависимости от стабильности отражения на НН поляризации**



**Рис. 6. Гистограмма распределения 200 нефтяных платформ в зависимости от стабильности отражения на НV поляризации**

Примером, демонстрирующим возможность интеркалибровки различных радаров с помощью исследуемых нефтяных платформ, может быть сравнение ЭПР этих платформ по данным японских радаров L-диапазона PALSAR (2006-2011 гг.) и PALSAR-2 (2014 г.- н/вр). Очевидным условием выбора снимков для калибровки является их получение в похожей геометрии (угол обзора и ориентация подспутниковой трассы относительно нефтяной платформы) съемки, поскольку не исключена зависимость отражательных свойств этих сложных конструкций от направления съемки.

Для целей интеркалибровки использованы радарные снимки L-диапазона по территории нефтедобычи «Нефтяные камни», полученные в сходной геометрии наблюдений: снимки PALSAR в режиме FBD от 20070613, 20080430, 20080615, 20080915, 20090618, 20090918, 20100506, 20100806 и 20101106, а также снимки PALSAR-2 от 20141001, 20141210 и 20150218. ЭПР 104 потенциально стабильных, по данным PALSAR, платформ (со стандартным отклонением уровня ЭПР менее 0.7 дБ) была измерена на 9 указанных снимках PALSAR и 3 снимках PALSAR-2. Различие между средними значениями ЭПР по данным PALSAR и PALSAR-2 показано на графике рис. 8. Среднее отклонение разностей ЭПР для PALSAR и PALSAR-2 здесь равно 0.37 дБ со среднеквадратичным отклонением 0.54 дБ. Следовательно, можно предположить недооценку уровня ЭПР по данным PALSAR-2 порядка 0.37 дБ.

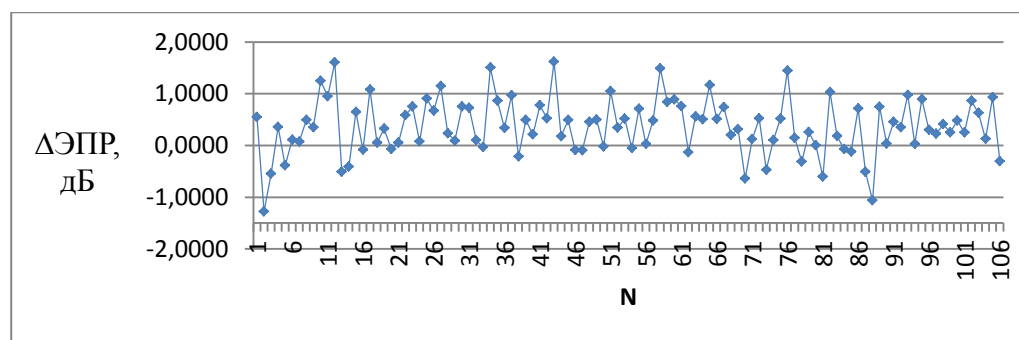


Рис. 7. Различие в уровне ЭПР по данным PALSAR и PALSAR-2 для 104 нефтяных платформ

Здесь по горизонтальной оси отложен условный номер платформы, причем отсчет этих целей шел с запада на восток с тем, чтобы выявить возможные крупномасштабные вариации, связанные с ошибками в знании диаграммы направленности PCA PALSAR-2.

### Выводы

Нефтяные платформы на Каспии оказались перспективным средством мониторинга стабильности работы космических PCA — среди 200 изученных платформ около 80 имеют по данным PCA PALSAR круглогодичную стабильность отражения лучше 0.5 дБ при средней интегральной ЭПР платформ порядка 38 дБм<sup>2</sup>. ЭПР платформ практически не зависела от времени года на интервале 4 лет.

Нефтяные платформы могут рассматриваться как удобное средство радиометрической калибровки и интеркалибровки космических PCA при условии съемки в повторяющейся геометрии наблюдения. По результатам сравнения измерений ЭПР 104 платформ по данным PALSAR и PALSAR-2 выявлена ошибка в значении калибровочного коэффициента радара PALSAR-2, из-за чего ЭПР этих платформ оказалась на 0.4 дБ ниже значений, полученных по данным PALSAR. Не выявлено очевидных неточностей в коррекции диаграммы направленности PCA PALSAR-2.

*Авторы признательны Японскому аэрокосмическому агентству JAXA за предоставленные в рамках научных проектов RA3 и RA4 радарные снимки PALSAR и PALSAR-2.*

### **Литература**

1. Захаров А.И., Сорочинский М.В., Захарова Л.Н., Иванычев Е.Е. Использование ярких точечных целей на радарных снимках для калибровки РСА // Тезисы 11-й Всеросс. Откр. конф. “Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса” ИКИ РАН, Москва, 11 - 15 ноября 2013 г.
2. Захаров А.И., Сорочинский М.В., Захарова Л.Н., Иванычев Е.Е., Применение естественных точечных и протяженных объектов для радиометрической калибровки РСА // IV Всероссийские Армандовские чтения [Электронный ресурс]: Радиофизические методы в дистанционном зондировании сред / Материалы VI Всероссийской научной конференции (Муром, 27-29 мая 2014 г.) – Муром: Изд. - полиграфический центр МИ ВлГУ, 2014. –296 с. ISSN 2304-0297. С. 230-235. (CD-ROM).
3. Захаров А.И., Захарова Л.Н., Синило В.П., Сорочинский М.В., Иванычев Е.Е., Поиск стабильных отражателей на радарных снимках для калибровки космических РСА // XXII Открытая Всероссийская конференция [Электронный ресурс]: Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса / Тезисы докладов XXII Открытой Всероссийской конференции (Москва, 10-14 ноября 2014 г.) – М: ИКИ РАН, 2014. (CDROM).
4. Захаров А.И., Захарова Л.Н., Синило В.П., Иванычев Е.Е., Сорочинский М.В., Методика поиска стабильных отражателей для калибровки космических РСА // VIII Всероссийская научно-техническая конференция «Радиолокация и радиосвязь», 24-26 ноября 2014 г., Москва. Доклады VIII Всероссийской конференции «Радиолокация и связь» (Москва, 24 - 26 ноября 2014 г.) – М: Изд. JRE - ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН, 2014. С. 231-236.
5. Захаров А.И., Захарова Л. Н., Сорочинский М.В., Синило В.П., Иванычев Е.Е., Исследование отражательных свойств нефтяных платформ на Каспии как стабильных радиолокационных отражателей по данным радиолокатора PALSAR//Труды Всероссийской научной конференции «Практическая радиолокация» в рамках V Всероссийских Армандовских чтений «Муром`2015». , 29.06-1.07. 2015г., Муром. Электронное издание: CD-ROM.
6. Захаров А.И., Захарова Л.Н., Сорочинский М.В., Синило В.П., Иванычев Е.Е., Использование морских нефтяных платформ для интеркалибровки космических РСА, 9-я Всероссийская конференция «Радиолокация и радиосвязь», Москва, ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН, 23-25 ноября 2015г.