

## **БОРТОВОЙ РАДИОКОМПЛЕКС НАНОСПУТНИКА ДЛЯ ГЕОФИЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА АРКТИКИ**

В.П. Лопатин, М.М. Мурзабеков, В.Ф. Фатеев

ФГУП «ВНИИФТРИ», Менделеево, Московская обл., Россия

[lopatin@vniiftri.ru](mailto:lopatin@vniiftri.ru)

В настоящее время остро стоит проблема геофизического информационного обеспечения Арктического региона Российской Федерации и Северного морского пути. Решение этой проблемы вызвано необходимостью расширения объемов добычи нефти и газа, уточнения запасов уже разведанных месторождений на Арктическом шельфе, создания навигационных гравиметрических и магнитометрических карт, а также повышения безопасности при решении задач навигации по Северному морскому пути [1].

Единственным вариантом создания глобальных гравиметрических и магнитометрических карт, в том числе на недоступные территории и акватории, является создание и применение космических высокоточных измерительных средств, размещенных на борту низкоорбитальных космических аппаратов (КА).

В докладе проанализированы основные тенденции развития космических средств измерения геофизических параметров. Стоит отметить положительный опыт миссий ГЕО-ИК-2, CHAMP, GOCE, GRACE, GRACE-FO. Реализованный Европейским космическим агентством проект GOCE (2009-2013 гг.) основан на использовании бортового гравитационного градиентометра, построенный на основе трех измерительных ортогональных баз с длиной около 0,5 м. Космические проекты NASA GRACE и GRACE-FO в качестве измерительной базы используется расстояние между двумя спутниками, расположенными на одной орбите. Эта база составляет около 220 км, а ее изменения во времени несут информацию о текущем гравитационном градиенте ГПЗ вдоль базы. Измерения приращения расстояния проводятся с помощью радиотехнических и лазерных дальномеров. При неоспоримых преимуществах данных миссий существуют следующие недостатки: невозможность прямого измерения ускорения свободного падения (УСП), отклонения отвесной линии (УОЛ) на борту КА; дороговизна миссий, а также большая масса и габариты полезной нагрузки КА.

Для изучения параметров магнитного поля Земли (МПЗ) из космоса в 1979 г. был запущен КА MagSat. Для картирования МПЗ были запущены спутники Orsted (1999 г.), CHAMP (2000 г.), SAC-C (2000 г.). В 2013 г. NASA запустило проект SWARM, космический сегмент состоит из трех миниспутников. На основе измерений этих миссий создана глобальная модель МПЗ VGGM размерностью 1440x1440.

Коммерческая миссия Spire Global состоит из низкоорбитальной группировки наноспутников, численностью более 90 штук. Каждый спутник имеет многоцелевую нагрузку для сбора глобальных радиочастотных данных таких как:

- измерения по сигналам ГНСС для определения параметров отражающей водной поверхности с целью вычисления высоты геоида и скорости приповерхностного ветра;
- радиозатменные измерения по сигналам ГНСС;
- прием сигналов AIS (Автоматическая система идентификации) для отслеживания морских судов и сигналов ADS-B для отслеживания воздушных судов.

В РФ космические гравиметрические и магнитометрические миссии до настоящего момента не созданы. Существующие зарубежные миссии не обеспечивают точность, необходимую для создания навигационных геофизических карт.

В состав предлагаемого бортового радиокomплекса наноспутника группировки для геофизического мониторинга предлагается включить:

- многоканальная приемная аппаратура прямых и отраженных сигналов ГНСС ГЛОНАСС/GPS/Galileo/Beidou с антеннами «в зенит», «в горизонт» и «в надир»;
- малогабаритный высокоточный квантовый магнитометр.

Размещение данной полезной нагрузки на борту наноспутника позволит измерить следующие параметры ГПЗ и МПЗ:

- ускорение свободного падения при приеме сигналов ГНСС антенной, направленной «в зенит»;
- отклонения отвесной линии при приеме сигналов ГНСС антеннами, направленными «в горизонт»;
- второй и третий гравитационный градиент, при условии размещения приемной аппаратуры на нескольких спутника;
- профили высоты геоида на акватории Мирового океана с помощью приема прямых и отраженных сигналов ГНСС антеннами, направленными «в зенит» и «в надир», а также значения УОЛ по текущим профилям геоида;
- значение магнитной индукции МПЗ, а также градиенты магнитной индукции при условии размещения магнитометров на нескольких спутниках;

При проведении измерений радиокomплексом наноспутника могут быть решены дополнительные задачи: мониторинг параметров ионосферы и тропосферы путем приема сигналов ГНСС антеннами, направленными «в горизонт»; определение параметров взволнованности водной поверхности путем приема отраженных сигналов ГНСС; мониторинг ледовых полей.

В докладе также представлены результаты обработки сырых данных – бинарных файлов программного приемника бистатической системы ГНСС-рефлектометрии спутниковых миссий TDS-1 и CYGNSS [2,3], реализованных на основе малых космических аппаратов. Представлен оригинальный алгоритм вычисления профиля высоты геоида и УОЛ по измерениям бистатической системы ГНСС-рефлектометрии и проведена его апробация на реальных первичных спутниковых измерениях.

### **Вывод**

В целом, предлагаемый состав бортового радиокomплекса позволяет решать задачи подготовки высокоточных глобальных навигационных карт с высоким разрешением для систем автономной навигации по геофизическим полям Земли, а также позволит решить задачи повышения эффективности разведки полезных ископаемых и мониторинга ледовой обстановки.

Кроме того измерения, выполняемые на борту наноспутника, могут дополнить измерения отечественной спутниковой альтиметрической миссии ГЕО-ИК-2, а также могут стать частью перспективной отечественной космической геодезической миссии ГЕО-ИК-3.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-67-10007, <https://rscf.ru/project/23-67-10007/>

**Список литературы:**

1. Павленко В.И. Арктическая зона Российской Федерации в системе обеспечения национальных интересов страны // Арктика: экология и экономика. 2013.№ 4(12). С.16–25.
2. TechDemoSat 1 (TDS 1): [сайт]. – URL: [https://space.skyrocket.de/doc\\_sdat/techdemosat-1.htm](https://space.skyrocket.de/doc_sdat/techdemosat-1.htm) (дата обращения: 10.06.2023).
3. Cyclone Global Navigation Satellite System: [сайт]. – URL: <https://www.nasa.gov/cygnss> (дата обращения: 11.06.2023).