

## ИЗУЧЕНИЕ АРАЛЬСКОГО И КАСПИЙСКОГО МОРЕЙ С ПОМОЩЬЮ СПУТНИКОВОЙ АЛЬТИМЕТРИИ

**Жан-Франсуа Крето (Jean-François Crétaux), Алексей Кураев, Фабрис Папа (Fabrice Para), Анни Казенав (Anny Cazenave), Мюриель Берже-Нгуйен (Muriel Bergé-Nguyen)**

*Legos, 14 Av Edouard Belin, 31400 Toulouse, [Jean-Francois.Cretaux@cnes.fr](mailto:Jean-Francois.Cretaux@cnes.fr)*

На протяжении более 10 лет спутниковая альтиметрия успешно применяется для мониторинга изменения уровня различных водных объектов - внутренних морей, озер, рек, и, в последнее время - водно-болотных угодий. Временное разрешение измерений уровня воды - от 10 до 35 дней, в зависимости от орбитального цикла спутника. Точность альтиметрических измерений для континентальных водных объектов меньше, чем точность наземных измерений, и изменяется от нескольких сантиметров до нескольких десятков сантиметров. Однако, спутниковая альтиметрия дает возможность производить крупномасштабные измерения (в масштабе континентов), в том числе и для удаленных и труднодоступных районов. Несмотря на ряд ограничений, этот подход позволил значительно продвинуться в изучении ряда внутренних водных объектов. Особый интерес представляют засушливые и полусухие регионы, где вода представляет собой ценный экономический ресурс. В нашей презентации мы представляем ряд интересных результатов, полученных с помощью спутниковой альтиметрии для регионов Аральского и Каспийского морей.

Спутниковая альтиметрия началась с запуском спутника Seasat в 1978. Принцип измерения прост - радар альтиметра испускает короткий сигнал в направлении надир, сигнал отражается от морской поверхности и принимается бортовым приемником. Время от начала отражения сигнала до его приема позволяет установить расстояние между спутником и морской поверхностью. Основное достоинство этого подхода состоит в том, что он не зависит от погодных условий и дает, с точностью до нескольких сантиметров, оценку топографии поверхности моря с временным разрешением от 10 дней до нескольких месяцев. Хотя показатели первых альтиметров были ограничены точностью вычисления орбиты, альтиметрия вступила в новую эру с запуском спутника TOPEX/Poseidon в 1992, где была применена новая система вычисления орбиты. Если для спутника Seasat точность вычисления орбиты была около 1 м., то для TOPEX/Poseidon она составляла всего лишь несколько сантиметров.

Спутниковая альтиметрия используется не только для океанологии и морской геодезии, но и для изучения континентальных водных объектов - озер, рек, и водно-болотных угодий. Обработка альтиметрических данных над континентами основана на том же принципе, что и тот, который используется океанологами для вычисления изменений уровня моря. Альтиметрическая высота  $H$  водной поверхности (океана или озера) по отношению к референц-эллипсоиду вычисляется по формуле:

$$H = Alt - ct/2 - R corr \quad (1)$$

где  $Alt$  - высота спутника по отношению к тому же эллипсоиду, что и  $H$ ,  $c$  - скорость света в вакууме,  $t$  - время прохождения сигнала от спутника до отражающей поверхности и назад, а  $Rcorr$  - суммарная коррекция, которая включает в себя атмосферную коррекцию (влияние ионосферы и тропосферы), приливы твердой

земли, электромагнитный шум и инструментальные поправки (Birket 1995, Crétau & Birket 2006).

Хотя спутниковая альтиметрия имеет много преимуществ, при изучении континентальных водных объектов ей свойственен ряд ограничений. В первую очередь, инструмент работает в режиме подспутниковых измерений вдоль трассы, что ограничивает широкомасштабный мониторинг водных объектов. Другой аспект состоит в том, что, поскольку спутниковая альтиметрия была разработана для открытого океана, алгоритм бортовой обработки сигнала адаптирован для широких и плоских участков морской поверхности. Для озер и рек, в зависимости от окружающей топографии, спутниковое эхо может быть слишком сложным для обработки (что часто наблюдается для горных озер) и в результате качество альтиметрических данных значительно снижается. В то же время, изменчивость уровня воды в озерах и реках, как правило, значительно больше ошибок измерения, упомянутых выше, и в большинстве случаев альтиметрия дает необходимую точность измерений для научных исследований.

После валидации спутниковых измерений колебания уровня с натурными данными, они могут быть комбинированы с батиметрическими параметрами объекта, чтобы в результате получить оценки изменения объема вод. Результаты, полученные для Аральского и Каспийского морей, позволили получить адекватные оценки параметров водного баланса. Эти данные, в сочетании с натурными, позволили прояснить ряд проблем, в частности наличие и степень влияния поземного стока в Большой Арал в последние десятилетия.