

# ВЫЯВЛЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ, СЕЗОННОЙ И МЕЖГОДОВОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ ВНУТРЕННИХ ВОЛН В КАСПИЙСКОМ МОРЕ (1999-2006, 2019 ГГ.)

Лаврова О.Ю.

Институт космических исследований РАН, Москва

olavrova@iki.rssi.ru

## Мотивация

Одной из основных задач проекта РНФ № 19-77-20060 «Оценка изменчивости экологического состояния Каспийского моря в текущем столетии по данным спутникового дистанционного зондирования» является выявление изменений в характере типичных для Каспийского моря гидродинамических процессов на основе анализа многолетних рядов спутниковых данных. В частности, предполагается оценить тренды в изменчивости поля течений, волновой и вихревой активности. Как показывает проводимый нами многолетний спутниковый мониторинг акватории Каспийского моря, внутренние волны являются для него характерным гидродинамическим процессом. Каспийское море считается бесприливным морем, поскольку высота прилива не превышает 12 см у береговой черты и порядка 2 см в открытом море. Однако поверхностные проявления внутренних волн регулярно наблюдаются на спутниковых изображениях, как радиолокационных, так и видимого диапазона. Целью проведенного исследования являлось выявление пространственной, сезонной и межгодовой изменчивости поверхностных проявлений внутренних волн в Каспийском море в период с 1999 по 2006 гг. и 2019 г. на основе анализа спутниковых данных.

## Спутниковые данные

### Данные радиолокаторов с синтезированной апертурой:

За период 2002 – 2006 гг.:

- ASAR Envisat IMP (пиксельное разрешение 12.5 м);
- ASAR Envisat WSM, IMM (пиксельное разрешение 75 м);

Данные были получены из архивов Европейского космического агентства и внедрены в информационную систему «See The Sea» (STS). Общее количество проанализированных данных - 1055.

За 2019 г.

- SAR-C Sentinel-1A; -1B (пиксельное разрешение 10 м).

Данные поступают в STS в автоматическом режиме.

Общее количество проанализированных данных – 2520 сцен.

### Данные видимого диапазона (для облачного покрытия <50%)

- TM Landsat-4;5 за 1999-2000 гг., 2006 г.
- ETM+ Landsat-7 за 1999-2006 гг.

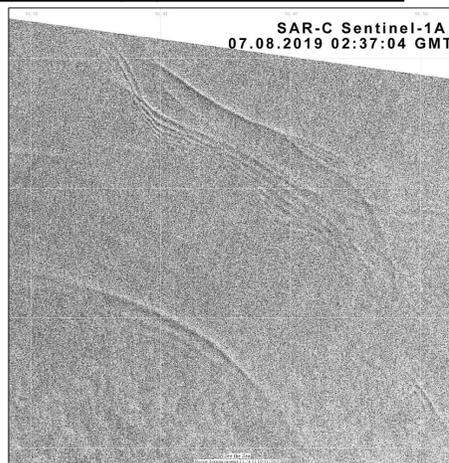
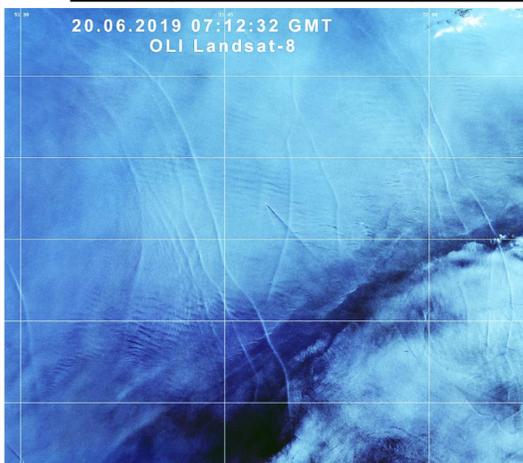
Общее количество проанализированных сцен для Среднего и Южного Каспия – 2720.

За 2019 г.

- OLI Landsat-8
- MSI Sentinel -2A; -2B

Общее количество проанализированных данных – 1491 сцен.

## Поверхностные проявления внутренних волн



Проявление пакетов внутренних волн на цветосинтезированном изображении OLI Landsat-8 (4-3-2 каналы)

Проявление пакетов внутренних волн на радиолокационном изображении SAR-C Sentinel-1A

### Сезонная изменчивость

Поверхностные проявления внутренних волн наблюдались в период с начала мая до середины сентября. В отдельные годы, в зависимости от гидрометеорологических условий – прогрева воды, ветровой ситуации и пр. внутренние волны не имели поверхностных проявлений в мае или сентябре.

На диаграмме представлено процентное распределение радиолокационных изображений, содержащих проявления внутренних волн по месяцам в 2019г, когда количество данных в каждом месяце было постоянным.



### Пространственная изменчивость

Поверхностные проявления внутренних волн регулярно наблюдаются в восточной части Среднего Каспия и северо-восточной части Южного Каспия. В Северном Каспии вследствие его мелководности и отсутствия выраженной стратификации, внутренние волны не образуются, либо не имеют поверхностных проявлений на спутниковых изображениях. В западной части Каспийского моря внутренние волны наблюдаются редко и, как правило, в начале летнего сезона. Пакеты внутренних волн распространяются к берегу, и места их генерации расположены преимущественно над глубинами 50 – 200 м.

### Межгодовая изменчивость

Проследить и оценить межгодовую изменчивость для 1999-2002 гг. сложно, поскольку для этих годов в нашем распоряжении отсутствовали радиолокационные данные. Однако, по имеющимся, данным за весь период можно сделать вывод, что в разные годы даты первых проявлений внутренних волн существенно разнятся. Например, в 1999 и 2000 гг. внутренние волны впервые наблюдались в июле. А в 2004 г. внутренние волны наблюдались до середины сентября.

## Картирование поверхностных проявлений внутренних волн

Картирование поверхностных проявлений внутренних волн проводилось в информационной системе STS с помощью инструмента «Работа с полигонами». Проявления каждого подтвержденного пакета внутренних волн оконтуривались и сохранялись в базу данных «внутренние волны»



Сводная карта поверхностных проявлений внутренних волн, составленная на основе спутниковых радиолокационных данных за 1999-2006 гг. и 2019 г.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 19-77-20060. Обработка и анализ спутниковых данных осуществлялись с использованием возможностей Центра коллективного пользования «ИКИ-мониторинг» с помощью информационной системы "See The Sea"