

Е.С.Щурова, Р.Р.Станичная, С.В.Станичный

Морской гидрофизический институт РАН, г.Севастополь

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ЗАЛИВА СИВАШ

Описываются результаты исследования залива Сиваш с помощью данных дистанционного спутникового зондирования. Рассмотрены поля температуры, ледовый режим, динамика береговой линии в ходе сгонно-нагонных явлений.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *спутниковые наблюдения, залив Сиваш, Азовское море.*

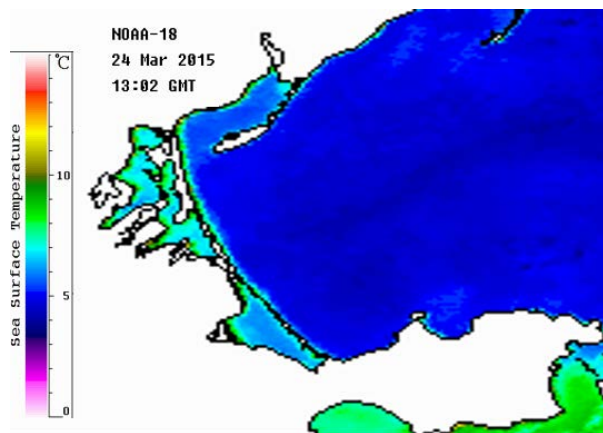
Спутниковые методы исследования позволяют проводить наблюдения за пространственно-временными полями различных гидрологических параметров, биооптических характеристик водных объектов, оценивать динамику береговой линии в условиях постоянно меняющихся антропогенных и природно-климатических факторов, выделять определяющие условия этих изменений. В данной работе рассмотрены примеры использования спутниковых данных для изучения процессов лагуны Сиваш – заливе Азовского моря.

После комплексных исследований, проведенных в середине XX в., на протяжении последних сорока лет залив Сиваш практически не изучался, отсутствует система мониторинга современного состояния водоёма.

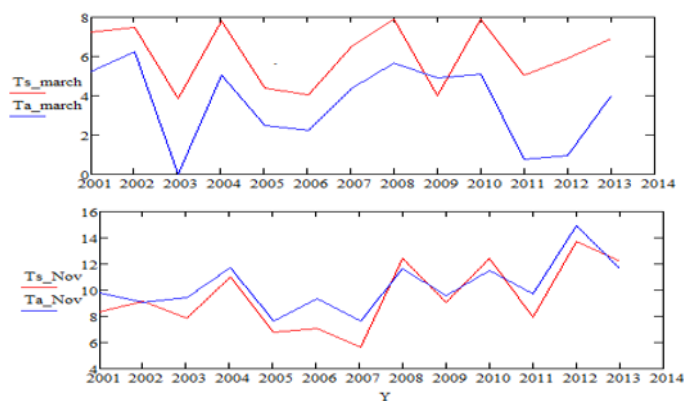
Для изучения были использованы космические снимки сканеров *AVHRR*, *MODIS* и данные сканеров спутников серии *Landsat* в инфракрасном и оптическом диапазонах с целью анализа изменчивости термических характеристик и оптических свойств воды. Для изучения динамики береговой линии и фильтрации вод через Арабатскую стрелку использовали программу обработки спутниковых снимков *BEAM Visat*. Анализ ледового режима осуществлялся на основе 87 снимков *MODIS*. Временные ряды полей температуры поверхности моря получены с помощью спутниковых данных, взятых из архивов *Giovanni Ocean color (MODIS-Aqua)* с пространственным разрешением 4 км.

Температурный режим. При анализе среднемесячных значений температуры воды по данным сканера *MODIS* за период 2001 – 2013 гг. отмечена высокая межгодовая изменчивость.

Были выделены наиболее теплый год (2010 г.) и наиболее холодные (2006, 2008, 2012 гг.) годы, когда зимние температуры поверхности воды в Сиваше опускались ниже нуля, как следствие при этом наблюдался ледовый покров в Восточном Сиваше, первичные формы льда в Центральном Сиваше, Западный Сиваш и некоторые районы, такие как Ярошикский залив, не замерзали по причине высокой солености (более 100 ‰). Ледовый режим в Сиваше по продолжительности короче ледового режима Азовского моря, что связано с более высокой соленостью сивашских вод и, как следствием, более поздним замерзанием и ранним таянием ледового покрова. Так, например, зимой 2008 г. ледовый режим в Восточном Сиваше составил 77 дней (с 18 декабря 2007 г. до 4 марта 2008 г.), а ледовый режим Азовского моря



a

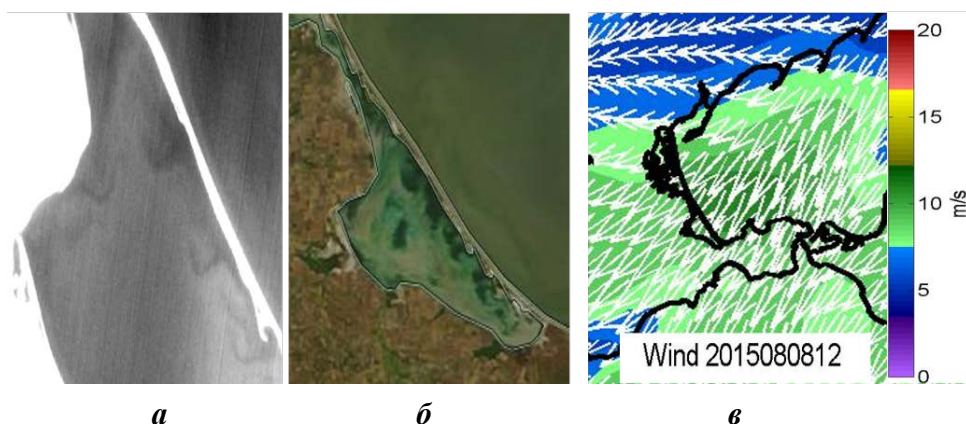


б

Р и с . 1 . Пример карты-схемы температуры Сиваша (красная линия) и Азовского моря (б) по данным NOAA и временная изменчивость температуры за март и ноябрь.

84 дня (с 18 декабря 2007 г. до 11 марта 2008 г.). Сравнение температурного режима залива Сиваш и Азовского моря показало разницу температур в $+2 - 2,5$ °C (рис1, *a*) во время весеннего прогрева (март, апрель, май) и до $- 1 - 2$ °C во время осеннего похолодания (ноябрь, декабрь). Это связано с небольшими глубинами залива Сиваш, а, следовательно, с более быстрым прогревом и остыванием, в летние же месяцы поля температуры становились более однородными. Проведённый анализ межгодовых вариаций среднемесячных температур продемонстрировал наибольшую изменчивость в переходные сезоны (рис.1, *б*); так, средняя температура поверхности воды в марте в период с 2001 – 2013 гг. менялась в диапазоне от 4 до 8 °C, а в ноябре – от 6 – 12 °C.

Проявление фильтрации вод Азовского моря через бар. Анализ снимков Южного Сиваша показал существование в ряде случаев особенностей как в температуре, так и в оптических свойствах воды вдоль Арабатской стрелки. Причём аномалии температуры, как правило, проявлялись в виде локальных областей (направленных от берега струй), а в оптическом диапазоне в этом районе наблюдаются зоны с пониженным рассеянием (мутностью).



Р и с . 2 . Фильтрация Азовской воды через Арабатскую стрелку 8 августа 2015 г. в инфракрасном (а) и оптическом (б) диапазонах, схема ветровых условий, м/с (в).

Возможной причиной таких проявлений может быть интрузия азовских вод через бар Арабатской стрелки [1, 2]. Пример такого проявления в поле температуры по данным сканера *TIRS* спутника *Landsat8* 10 апреля 2015 г. показан на рис.2, а. На снимках в оптическом диапазоне сканера *MODIS* за 8 августа 2015 г. (рис.2, б) хорошо выделяются области более прозрачных вод. Ветровые условия, предшествующие подобным проявлениям, характеризовались сильными > 10 м/с ветрами восточного и северо-восточного направлений. Пример поля ветра по данным *NOMADS NOAA* [3] за 8 августа 2015 г. 12 GMT приведён на рис.2, в. Такого рода ветра приводят к повышению уровня воды с Азовской стороны бара и соответствующему понижению со стороны Сиваша и способствуют усилению фильтрации (интрузии) вод через бар. Отметим, что неоднородности в поле температуры и оптических данных наблюдаются в одних и тех же районах Арабатской стрелки, что может свидетельствовать о существовании участков с повышенной проницаемостью.

Динамика береговой линии при различных ветрах. На основе снимков сканера *OLI* спутника *Landsat8* проанализирована внутрисезонная динамика береговой линии Сиваша при различных ветровых условиях. Для этого были собраны и проанализированы снимки *Landsat* за летний сезон 2013 г., характеризующиеся различными ветровыми характеристиками по данным оперативной модели *NOMADS NOAA*.

Поскольку Сиваш является мелководным заливом, главным фактором колебания уровня и важнейшей рельефообразующей причиной являются сгонно-нагонные явления. Проводилось сравнение береговых зон в дни, когда преобладали ветры северо-восточных румбов, определяющие процессы нагонов, с днями, когда преобладали ветры, не влияющие на изменения береговой линии.

В результате анализа спутниковых данных были определены участки, на которых при нагонных ветрах повышается уровень воды, с другой стороны, были выделены большие ветровые засухи, которые обнажаются на сотни метров в результате сгонов. При нагонах в Сиваше уровень обычно повышается на 0,5 м, реже до 0,7 – 0,8 м [4] в зависимости от глубины и ха-

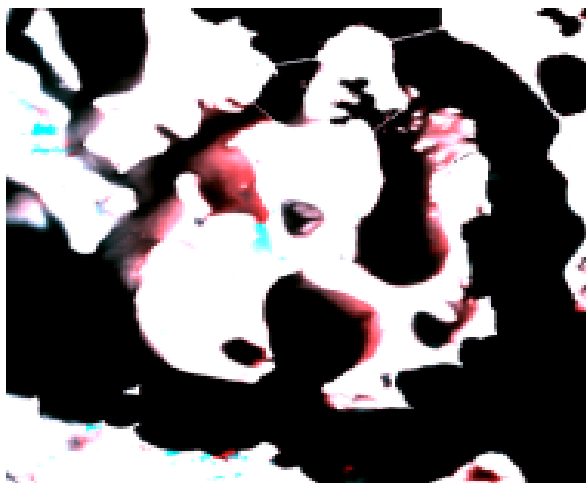


Рис. 3. Результат наложения двух изображений сканера *Landsat* (май и июнь 2013 г.), красным цветом обозначены области сгона.

рактера береговой зоны, площади нагонов варьируются от 30 до 60 м. В Западном Сиваше, где глубины едва достигают 0,5 м, воздействие сгонно-нагонных процессов особенно заметно; так, некоторые участки осушаются во время сгона до 500 м, на рис.3 результаты наложения двух снимков сканера *OLI* спутника *Landsat8* района западной ветви Сиваша от 22 мая и 7 июня 2013 г., выполненных при различных ветровых условиях.

Таким образом, использование современных спутниковых методов предоставляет возможности систематического наблюдения за изменениями акватории залива Сиваш, что особенно актуально, поскольку исследуемый объект, с точки зрения проведения традиционных экспедиционных исследований, весьма сложный.

Получены характеристики межгодовой изменчивости поля температуры и ледового режима залива Сиваш в XX в. Анализ снимков Восточного Сиваша позволил выявить проявление фильтрации вод Азова через Арабатскую косу и локализовать зоны возможной интрузии при ветрах восточного направления. Рассмотрена динамика береговой линии при различных ветровых условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Зенкович В.П.* Основы учения о развитии морских берегов.– М.: Изд-во АН СССР, 1962.– 712 с.
2. *Понизовский А.* Соляные ресурсы Крыма.– Симферополь: Крым, 1965.– 163 с.
3. http://dvs.net.ru/mp/data/main_ru.shtml – морской портал отдела дистанционных методов МГИ РАН.
4. *Михайлов В.А.* Про характер берегов Сиваша // Ученые записки ТНУ. Серия «География».– 2005.– т.20 (59), № 2.– С.322-333.

Материал поступил в редакцию 12.02.2016 г.
После доработки 13.09.2016 г.

E.S.Shchurova, R.R.Stanichnaya, S.V.Stanichny

SATELLITE DATA FOR INVESTIGATION OF RECENT STATE IN THE SIVASH BAY

This paper describes the results of the Sivash bay study on the base of satellite data. Temperature regimes, ice conditions, intrusions and dynamics of the coastline for different winds are discussed.

KEYWORDS: *satellite data, the Sivash bay, the Sea of Azov*