

S E N S ' 2 0 0 6
Second Scientific Conference with International Participation
SPACE, ECOLOGY, NANOTECHNOLOGY, SAFETY
14 – 16 June 2006, Varna, Bulgaria

**ПРИЛОЖЕНИЕ НА EOS MODIS LEVEL 2 ПРОДУКТИ ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ
НА ПОВЪРХНОСТНИТЕ ТЕМПЕРАТУРИ В ЧЕРНО МОРЕ**

Златка Пиронкова¹, Христо Станчев²

¹*Институт за космически изследвания – БАН*
София, ул. Московска № 6;
pironkova@space.bas.bg

²*Институт по Океанология – БАН*
stanchev@emona.io-bas.bg

**APPLICATION OF EOS MODIS LEVEL 2 PRODUCTS TO STUDY SEA
SURFACE TEMPERATURES IN BLACK SEA**

Zlatka Pironkova¹, Hristo Stanchev²

¹*Space Research Institute –BAS*
pironkova@space.bas.bg

²*Institute of Oceanology – BAS*
stanchev@emona.io-bas.bg

Key words: satellite data, MODIS, sea surface temperatures

Abstract: *The possibilities for using MODIS archiving products form Level 2 are presented. A special emphasis is put on their capabilities for cartographic representation of sea surface temperature. As case study a period from the end of August 2005 is used, which coincided with an expedition of the Institute for Oceanology at the Bulgarian Academy of Sciences. During the expedition there have been measurements of the water temperature, from which the data from 27 monitoring points in the Bulgarian territorial waters were used. The differences in the water surface temperatures from the field data and the MODIS image are ascertained. An appraisal is made of the applicability of the two types of data for the sea surface temperature of the Black sea basin.*

УВОД

Използването на сателитни данни е съществен компонент на океаноложките изследвания и мониторинг. С все по-високото качество и честота на тези данни се очаква да се повиши разбирането за ролята на водните басейни в изследванията за изменението на климата. Още през 70-те години започва да оперира сателитна апаратура, специално предназначена и за изследване на Световния океан. Например AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), CZCS (Coastal Zone Color Scanner), SeaWiFS (Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor) и др. Тези сензори се усъвършенстват във времето. Данните, които са използвани в настоящето изследване са от сензора MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer),

който започва да оперира на спътници от серията EOS — на сателита Terra от 1999 г. до днес, а от 2002 г. до днес и на сателита Aqua.

Сензорът MODIS предава информация за температурата и цвета на океанската повърхност. Този сензор се отличава от предходните с увеличена радиометрична и спектрална разделителна способност, както и със значително по-стабилна калибровка и валидиране на данните. Получават се изображения на Земята в 36 спектрални канала. Пространствената разделителна способност на тези изображения варира от 250 до 500 m за наземните приложения, до 1 km за морските и атмосферни продукти. Темпоралната разделителна способност също е по-висока – два пъти в денонощие, тъй като сензора MODIS е качен на два сателита. Terra пресича екватора в 10:30 h местно време, а Aqua в 1:30 h. Всички данни могат да бъдат получени от Goddard Earth Sciences Distributed Active Archive Center (GES DAAC): <http://daac.gsfc.nasa.gov/MODIS/>

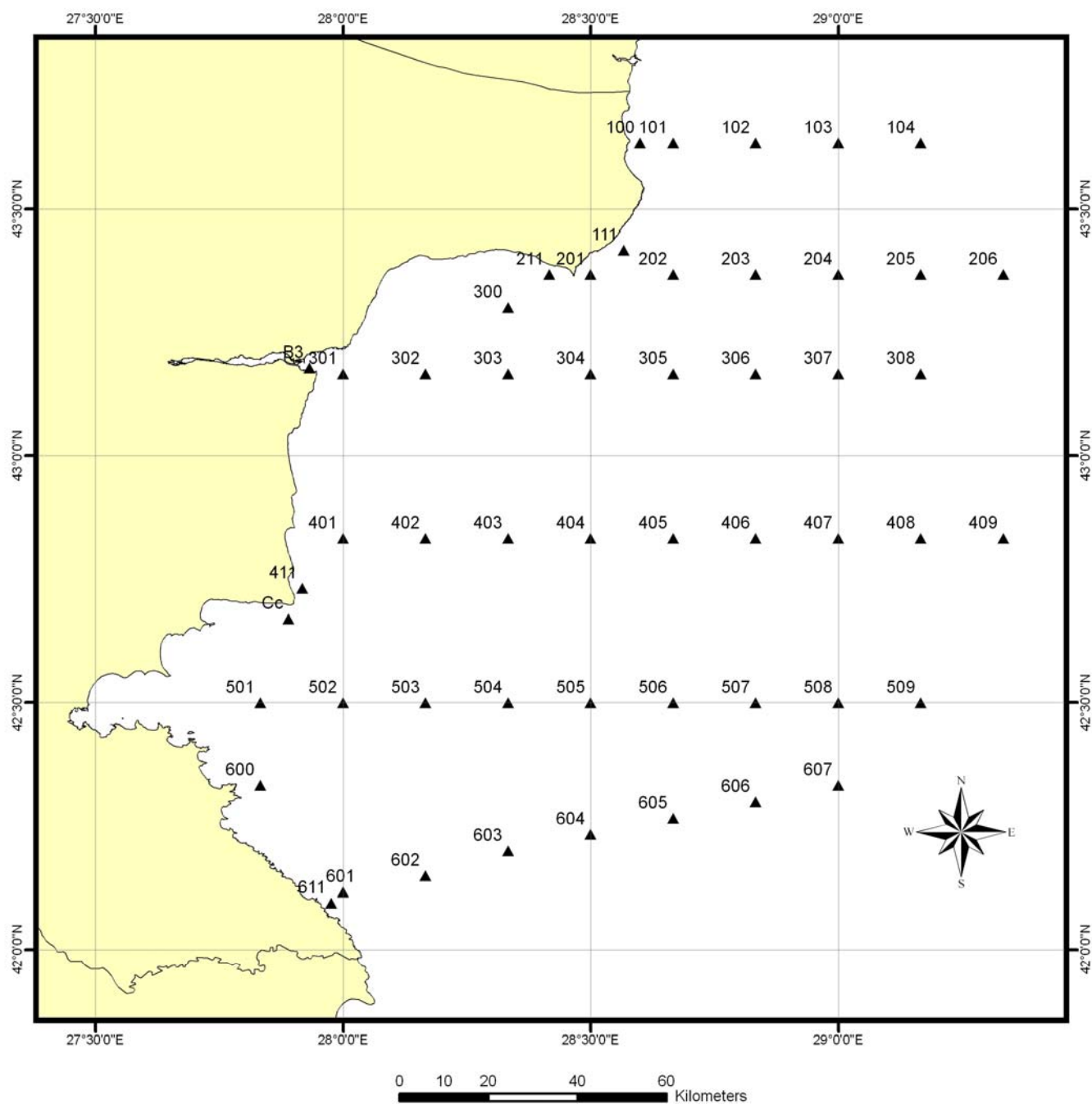
Информацията от спътниците EOS/MODIS постъпват като 5 минутни гранули по продължение на полосата (along track) в EOS HDF (Hierarchical Data Format) формат. Те се обработват със съответен софтуер, който използва общо валидираните алгоритми и входящите параметри за контрол на качеството и атмосферни корекции за получаване на тематични изображения и статистически продукти от ниво 2 (Level 2). Продукти от MODIS за океаноложки изследвания могат да бъдат групирани в три типа: цвят на водата, температура на морската повърхност и първична продукция.

Сателитните данни дават актуална и комплексна информация за състоянието на морската повърхност и предоставят възможност за сравняване и анализ заедно с данните, постъпващи от мониторинговата програма за контактни (in-situ) измервания, която Институтът по океанология към БАН изпълнява. Тези данни са изключително важни за взимането на решения по административни и икономически проблеми, свързани с изследването, експлоатацията, управлението и опазването на чистотата на морската вода в бреговата зона и откритото море.

ИЗПОЛЗВАНИ ДАННИ

За представеното изследване са използвани 3 изображения от сателита Terra MOD28L2 както и съответните MOD03 файлове, съдържащи геолокационните параметри. MOD28L2 е продукт от ниво 2, който представя температурата на морската повърхност, отчетена по два канала от далечната инфрачервена зона на спектъра (11-12 μ m, SST) и температура на морската повърхност отчетена по два канала от средната инфрачервена зона (3-4 μ m, SST4) с 1 km пространствена разделителна способност и радиометрични и атмосферни корекции. Според EOS Data Products Handbook абсолютната точност е 0.2 K.

Налични са дневни и нощни измервания за SST и SST4 от сателитите Terra и Aqua. Дневните измервания за SST4 не се използват, тъй като алгоритмът за изчисление от канали от средната инфрачервена зона не е точен при слънчева светлина. В статията са използвани дневните измервания от сателита Terra на дълговълнова температура на морската повърхност (11-12 μ m, SST) за датите 29, 30 и 31 август 2005. На тези дати има налични пробовземания в 27 точки. Останалите 12 пробовземания от експедицията на института по Океанология са извършени на 1 и 2 септември 2005 г., които са дни със значителна облачност. Поради това те не са взети под внимание в настоящето изследване. Като допълнителна информация са използвани и данни за скоростта на вятъра от базата на <http://www.wunderground.com/> както и данни за температурата и продължителността на слънчевото греене от НИМХ <http://www.meteo.bg> за 29, 30 и 31 август 2005.



Фиг. 1 Карта на мониторинговите станции

Използваните контактни данни за температурата на дълбочина 1 m на Черно море са получени от базата данни на Института по Океанология БАН. Една от целите на Българската Черноморска Мониторинговата Програма е изучаване на термохалинната структура в бреговата зона и част от Българската Черноморска икономическа зона. Мрежа от точки на пробовземания (станции) покрива тази акватория на Черно море. Тези станции са 52 на брой и са разположени по 6 трансекта, започвайки от брега и достигайки до открито море (фиг.1).

Сондирането се извършва със CTD – комплекса SBE-911PLUS посредством кабелтросна лебедка, разположена на бака на кораба. По време на спускането, което е със скорост 0.1 to 0.5 m/s, се вземат проби вода за химични и биологични анализи. Обработката на получената информация става с помощта на програмата SEASOFT на фирмата SEA-BIRD ELECTRONICS версия 4.201. Използваните *in situ* данни са от 27 станции. Пробите за температура на морската вода на 1 m дълбочина са вземани в дните 29, 30 и 31 август 2005 г. в различни часове на денонощието.

ОБРАБОТКА НА ДАНИТЕ

Всеки MODIS продукт съдържа всички стойности на всички нива на качество. Информацията за качеството на пикселите се съдържа в същия файл, в който се съдържа и параметърът температура. Необходимо да се извлече информацията за качеството и да се филтрират данните, според нивото което е подходящо за изследването. Има четири нива на качество (MODIS Ocean User's Guide):

0 – добро

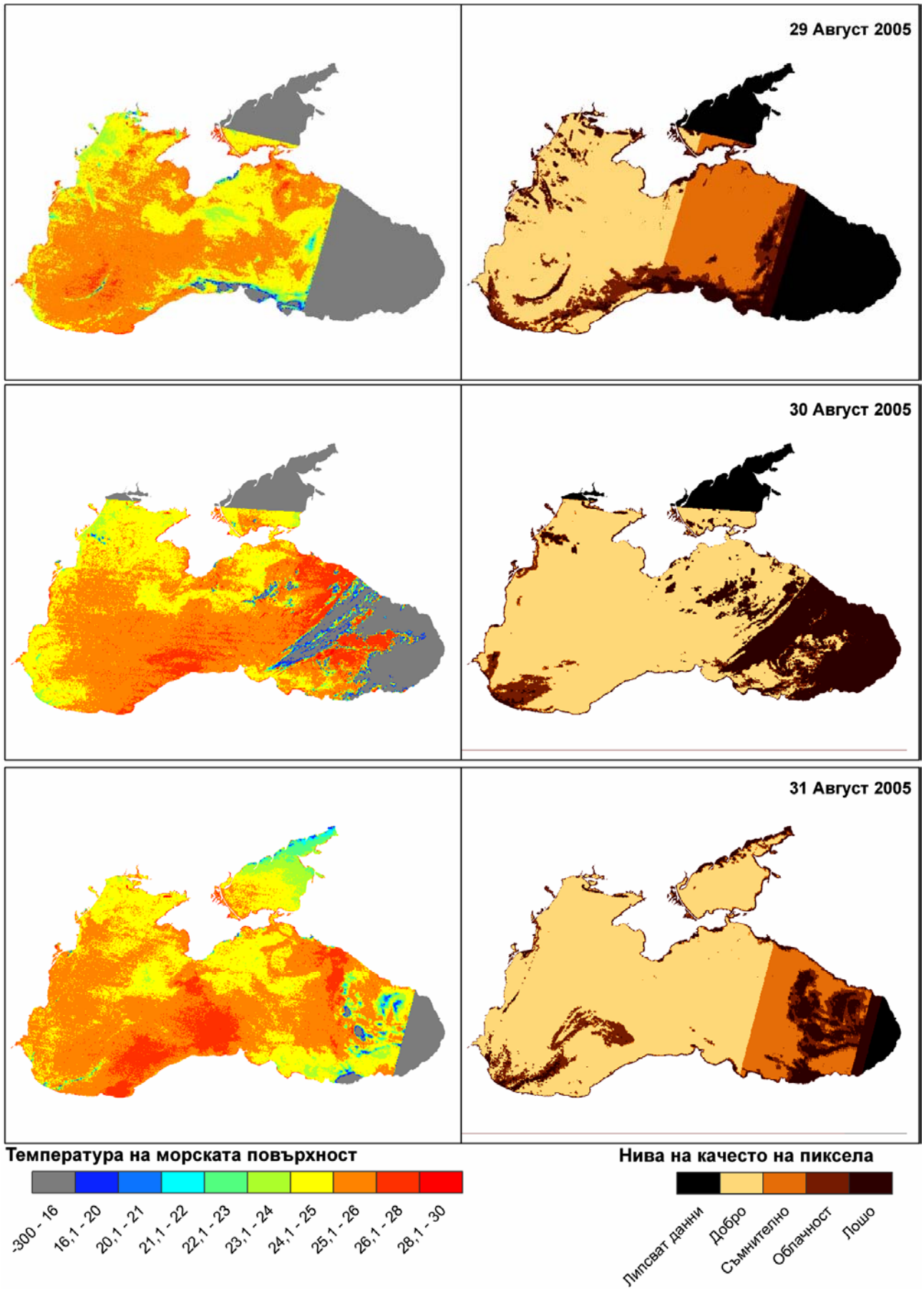
1 – съмнителен - голям зенитен ъгъл, плитки води или др.

2 – слънчев отблясък или възможно влошаване на качеството на данните поради облачност

3 – лошо - плътна облачност, проблем с атмосферната корекция, друг проблем или суша

Стойностите на параметъра температура (SST и SST4) са цели числа. За да се конвертират към реалните градуси, се използва информацията за 'Scale_type', 'Slope' и 'Intercept', която може да бъде извлечена от атрибутите на HDF файла. Информацията за геолокацията на всеки пиксел се съдържа в отделен файл MOD03. Използван е софтуерът HEGTool за конвертиране на HDF файла в geotif формат. В geotif формат са конвертирани както слоя с температурните стойности, така и стойностите на нивата на качество. Конвертирането към реалните стойности в градуси е извършено в ГИС среда. На Фиг.2 са представени получените преди филтрирането картосхеми за температурата на морската повърхност (лявата колона) и нивата на качество на пиксела (дясната колона) на трите дати 29, 30 и 31 август 2005 г.

Чрез GPS данните за геолокацията на пробовземанията е създаден точков слой, в чиято атрибутивна таблица са въведени в отделни колони данните за температурите от контактните измервания, температурата отчетена по MODIS изображението, разликата от двете температури както и часовете на пробовземането и на заснемането от сателита в GMT. Предварително е създаден и полигонален слой с бреговата линия на Черно море.



Фиг. 2. Температура на морската повърхност и нива на качество на пиксела

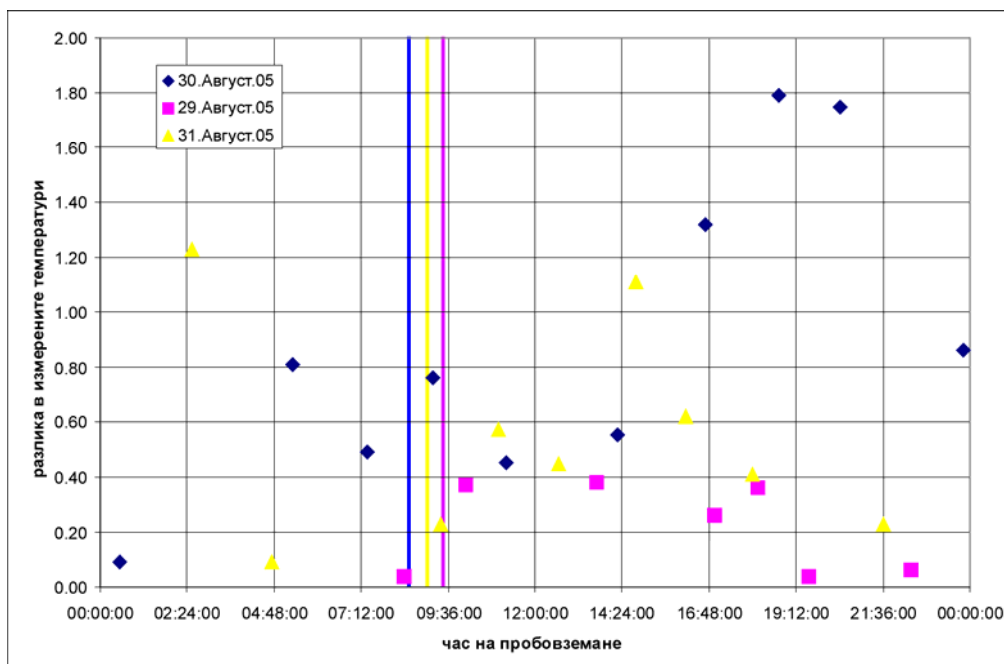
РЕЗУЛТАТИ

Слоят с точки от пробовземанията беше наложен върху получените карти за температурите на повърхността на Черно море. Отчетени са температурите по MODIS изображението и е пресметната разликата между температурите от контактните измервания и от сателитните данни. На 29 август 2005 г. са взети проби в 8 точки – станции 201; 202; 211; 300; 301; 302; 303 (виж Фиг. 1). Всички станции попадат върху пиксели с добро качество, с изключение на станция 211. Тя попада върху пиксел със съмнително качество (вероятно поради голямата близост до брега), но отчетената разлика в измерените температури е в границите на допустимото (0.36), поради което точката не е изключена от общия анализ. За 29 август 2005 г. е отчетена максимална разлика 0.38. Минималната разлика е 0.04. Всички температури, установени според изображението от MODIS за тази дата са завишени спрямо измерените *in situ* температури като средното отклонение е 0.22 градуса.

На 30 август 2005г. са взети проби в 11станции. Тава са станциите 100, 101, 102, 103, 104, 111, 203, 204, 205, 206 и 304. Всички станции попадат върху пиксел с добро качество, с изключение на станция 100, която е изключена от общия анализ. При тази станция е отчетено лошо ниво на качество. Това е и единственият случай, при който измерената температура по MODIS изображението е по-ниска в сравнение с *in situ* данните. Максималната отчетена разлика за 30 август 2005 г. е 1.79 градуса, минималната – 0.45, а средната – 0.89. Това е денят с най-големите отчетени разлики между двете измерени температури. Измерванията със сравнително по-ниски разлики в регистрираните температури, отчетливо се групират по време на пробовземането, близко до часа на заснемане от MODIS (виж Фиг. 3). Най- високите отчетени разлики са привечер - между 16.30 и 20.30 h GMT (съответно 18.30 и 22.30 h местно време).

На 31 август 2005 г. пробовземането е извършено в станциите 305, 306, 401, 402, 403, 404, 405, 406 и 502. Максималната отчетена разлика между контактните данни за температурата и данните от сателитното изображение е 1.23 градуса, минималната – 0.09 градуса, а средната – 0.55.

Трябва да се има пред вид, че MODIS представя моментни данни, докато използваните контактни измервания са проведени в различни часове на денонощието. Отчетените разлики вероятно в голяма степен се дължат именно на



тази характеристика на сравняваните тук сателитни и *in situ* данни. За да се потърси такава зависимост беше съставена графика.

Фиг. 3 Разлики в температури между MODIS и контактни данни по отношение на време на пробовземане.

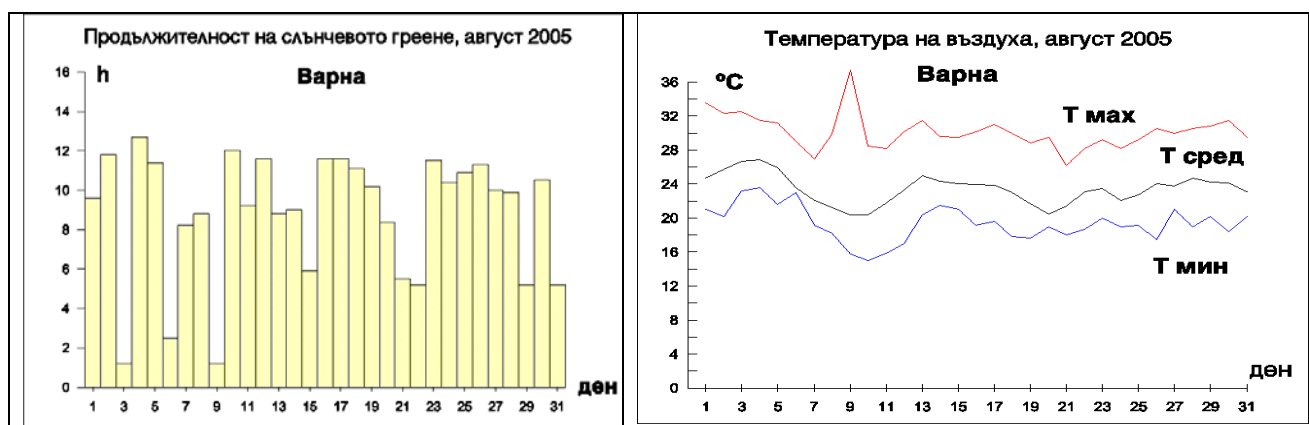
С вертикалните цветни линии са отбелязани часовете на заснемане от MODIS.

Анализирайки тази графика не може да е каже категорично, че има обособяване на ясна зависимост между часа на измерване и отклонението между двете измерени температури за всичките точки. Но разгледано по отделни дати (като при анализа на температурните отклонения на 30 август) могат да бъдат направени подобни изводи. Това ни навежда на мисълта, че влияят и други фактори, които имат различни прояви в отделните наблюдавани дни.

Тъй като оптичестката дълбочина на морската вода към инфрачервените дължини на вълната е $< 1\text{mm}$ (Brown et. al., 2001), сателитните радиометри „улавят“ океанската радиометрична температура, известна като „външна“ (skin) температура. Възможността сателитните резултати да бъдат сравняеми с температурните измервания в горните няколко метра на морската повърхност се постига чрез екстензивни дейности по за калибриране и валидиране на сателитните данни чрез *in situ* измервания с апаратура, монтирана на плавателни съдове и шамандури. Въпреки това при определени условия е възможно да се очакват известни несъответствия. Взаимодействието между морската повърхност и въздуха модифицира връзката между тези две променливи и предизвиква забележими разлики. Външният слой по правило е по-студен от подповърхностния, поради топлинния поток от окена към атмосферата. Този ефект въпреки калибровъчните процедури явно не е елиминиран напълно и се забелязва при всички температури измервания по MODIS изображенията от настоящето изследване, които са завишени спрямо контактните измервания средно с 0.54 градуса.

Поради изтъкнатите причини при анализа на отчетените разлики бяха взети под внимание и данни за времето в разглежданите дни. От Фиг. 4 и Фиг. 5 могат да се направят следните изводи: 30 август 2005г. - денят с най-големите отчетени разлики в температурите, се отличава с ясно време и продължителност на слънчевото греене около 11 часа. За сравнение, продължителността на слънчевото греене за двата други дни 29 и 31 август 2005 г. е около 6 часа. Максималната температура е най-висока през този ден, а минималната е най-ниска, т.е. температурната амплитуда е най-голяма. 29 и 31 август 2005г. са много сходни като характеристики на продължителността на слънчевото греене и максималните и минимални температури. При по-силен вятър ($> \sim 22\text{ km/h}$) температурата, измерена на дълбочина от 1 метър от контактен термометър и радиационните температури, отчетени от сензора MODIS се изравняват (Brown et. al., 2001). Вятърът и за трите наблюдавани дни е слаб, под 22 km/h през по-голямата част от деня. На 30 август след 18 h местно време, когато са и най-високите отчетени разлики между двете измерени температури, той рязко утихва и пада до стойности от под 8 km/h до 0 km/h . Всички тези условия способстват за отчетлива проява на термоклинния ефект на 30 август 2005г., на който се дължат и големите установени разлики за този ден в температурата, измерена на дълбочина от 1 метър от контактен термометър и радиационните температури, отчетени от сензора MODIS. Разбира се, за да се направят обобщени изводи е необходимо да се вземат под внимание значително повече измервания.

Фиг. 4 Продължителност на слънчевото греене и температури за месец август 2005г. (по данни от НИМХ <http://www.meteo.bg>)



Фиг. 5 Скорост на вятъра 30август, 2005 станция Варна (www.wunderground.com)

ИЗВОДИ И ИДЕИ ЗА БЪДЕЩА РАБОТА

Установената средна разлика между температурите на морската повърхност от контактните измервания и от MODIS сателитните изображения за три дати е 0.54 градуса. Максималната отчетена разлика между тези два параметъра е 1.79 градуса в станция 204 на 30 август 2005 г. Минималната отчетена разлика е 0.04 градуса и е измерена на 29 август 2005 г. в 2 станции - 201 и 301. За да се направят категорични изводи за причините за отчетените съществени разлики, трябва да бъдат взети значително повече измервания. За западната част на Черно море е необходимо да се проведе по-мощно изследване за установяване на коефициенти за корелиране на базата данни за температурите от Българската Черноморска Мониторинговата Програма и сателитните данни от MODIS изображенията. Но като общ извод е ясно, че MODIS е моментна снимка на голяма територия, което го прави значително по подходящ източник на данни за моделиране на глобални процеси, протичащи в Черно море. Данните от мониторинговата програма са много по-точни, но на малка площ и разновременни, което затруднява сравнението и интерполирането им. Те са много по-подходящи за детайлни изследвания на локални процеси, протичащи в западната част на Черно море.

ЛИТЕРАТУРА

Brown, O. B., P. J. Minnett, R. H. Evans and E. J. Kearns. Sea Surface Temperature MOD 28 Status MODIS, Science Team Meeting, Baltimore, 2001

EOS Data Products Handbook, Volume 1, NASA Goddard Space Flight Center Greenbelt, Maryland, 2003

MODIS Ocean User's Guide <http://modis-ocean.gsfc.nasa.gov/>