

С.В.Федоров

*Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь***ВОЗМОЖНОСТИ МНОГОЗОНАЛЬНОГО СКАНИРУЮЩЕГО
УСТРОЙСТВА «МЕТЕОР-М» ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ
СУММАРНОГО ВЗВЕШЕННОГО ВЕЩЕСТВА**

Приводятся характеристики многозонального сканирующего устройства на российских спутниках гидрометеорологического назначения типа «Метеор-М» № 1 и «Метеор-М» № 2. Предлагается методика использования данных камеры МСУ спутников «Метеор-М» № 2, появляющихся в свободном доступе на портале открытых данных Роскосмоса, для определения суммарного взвешенного вещества. Приводятся оценки концентрации взвеси для некоторых районов Азово-Черноморского бассейна и их сравнение с данными контактных измерений.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *суммарное взвешенное вещество, мультиспектральная съемка морской поверхности, МСУ-100, Метеор-М*

Введение. Федеральная космическая программа России в 2021 г. предусматривает запуск первого космического аппарата океанографического назначения «Метеор-М» № 3 с многофункциональной целевой аппаратурой, включающей скаттерометр, бортовой радиолокационный комплекс, сканеры цвета океана и береговой зоны [1, 2]. Вместе с тем, численность российской орбитальной группировки постоянно растет. В настоящее время в нее входят восемь спутников природно-ресурсного и метеорологического назначения, а в ноябре 2017 г. с космодрома «Восточный» должен состояться запуск девятого спутника – «Метеор-М» № 2-1. В связи с этим возникает вопрос об использовании данных этих спутников для решения задач океанологии.

Оптическая аппаратура, установленная на российских спутниках природно-ресурсного и метеорологического назначения, предназначена для решения широкого ряда задач, связанных с мониторингом состояния окружающей среды и чрезвычайных ситуаций природно-техногенного характера, мониторингом климата, прогнозом погоды. В связи с этим, их характеристики значительно отличаются от специализированных сканеров цвета океана. Характеристики самих спутников и радиометрические характеристики приборов в целом удовлетворяют требованиям к аппаратуре для измерений цвета океана [3, 4], но сильно отличаются по характеристикам спектральных каналов. У оптической аппаратуры российских спутников ширина каналов значительно шире (50 – 100 нм и более), в то время как спектральные каналы сканеров цвета океана узкие (5 – 15 нм) и расположены в областях, где наиболее ярко проявляются особенности рассеяния и поглощения оптически активными веществами, содержащимися в воде. Эти различия и определяют возможность использования данных этих сканеров и точность определенных по ним величин яркости излучения.

Однако многими авторами отмечается положительный опыт использования оптических сканеров природно-ресурсного назначения для определе-

ния биооптических характеристик вод. Например, радиометров *ETM* и *OLI* на спутниках *Landsat-7* и *Landsat-8* [5 – 9], сканеров *WVC* на китайских миниспутниках класса *HJ-1* [10, 11]. Подобный положительный опыт и близость характеристик российской мультиспектральной аппаратуры этим радиометрам позволяет предполагать, что данные дистанционного зондирования Земли российской орбитальной группировки также могут быть успешно использованы для исследований оптических свойств вод.

Потребность в снимках спутников природно-ресурсного назначения возникает при мониторинге состояния вод в мелководных водоемах (эстуариях, озерах, реках) и прибрежных водах морей, где требуются данные с высоким пространственным разрешением, недоступным в настоящее время для современных сканеров цвета океана. Наилучшее пространственное разрешение у последнего сканера цвета океана *Ocean and Land Colour Instrument (OLCI)*, установленного на спутниках *Sentinel-3*, составляет 300 м [12], а у российских сканеров высокого разрешения 1 – 30 м и среднего разрешения 60 – 120 м. При этом периодичность съемки несколькими спутниками одного типа составляет не реже одного раза в сутки.

В данной работе рассматривается возможность использования данных ДЗЗ со спутников гидрометеорологического назначения «Метеор-М». В настоящее время в эксплуатации находятся два спутника данного типа: «Метеор-М» № 1 (запущен 2009 г.) и «Метеор-М» № 2 (запущен 2014 г.), а в ближайшее время на орбиту будет выведен третий спутник данного типа «Метеор-М» № 2-1. На борту этих спутников установлено два вида оптических приборов: многозональное сканирующее устройство малого разрешения (МСУ-МР) и комплекс многозональной спутниковой съемки (КМСС).

Прибор МСУ-МР по своим характеристикам близок к радиометру *AVHRR/3* спутника метеорологического назначения *NOAA-15* и предназначен для измерения излучения в инфракрасных и тепловых диапазонах спектра. Измерение восходящего излучения в видимой области спектра осуществляется комплексом КМСС [13, 14], который состоит из трех камер: одной камеры МСУ-50, предназначенной для мониторинга Мирового океана, и двух камер МСУ-100 для мониторинга суши. Основные характеристики комплекса приведены в таблице.

Материалы и методы. В отличие от спутниковых данных оптических сенсоров цвета океана американского и европейского космических агентств,

Т а б л и ц а . Основные характеристики мультиспектральных камер КМСС.

характеристика	МСУ-50	МСУ-100
ширина полосы захвата, км	927	800
пространственное разрешение, м	120	60
спектральные каналы, мкм	0,37 – 0,45 0,45 – 0,51 0,58 – 0,69	0,535 – 0,575 0,630 – 0,680 0,700 – 0,900
отношение сигнал/шум, не менее	200	200
разрядность АЦП, бит	8	16
периодичность, сут	1 – 2	

данные российских спутников не находятся в открытом доступе, а доступны, главным образом, для представителей федеральных и региональных органов исполнительной власти. Однако с 2016 г. в тестовом режиме был запущен портал открытых данных ДЗЗ Роскосмоса (<http://pod.gptl.ru/>), предназначенный для открытого доступа к данным российских спутников с пространственным разрешением более 30 м. На портале выставляются данные ДЗЗ сенсоров ШМСА-СР, установленных на спутниках типа «Ресурс-П», МСУ-ГС геостационарных спутников метеорологического назначения типа «Электро-Л», и МСУ-100 «Метеор-М» № 2. В настоящее время объем данных на портале невелик, а количество съемок Мирового океана крайне скудно. В данной работе на основе доступных на портале снимков рассмотрены возможности использования данных камеры МСУ-100 для определения суммарного взвешенного вещества, содержащегося в воде.

Вследствие сильного поглощения морской водой в красной – инфракрасной области спектра восходящее из водной толщи излучение в чистых водах пренебрежимо мало или отсутствует, но в мутных водах из-за наличия сильно рассеивающей свет минеральной и органической взвеси восходящее излучение принимает относительно большие величины. Поэтому каналы этого спектрального диапазона используют для определения концентрации суммарного взвешенного вещества [15, 16] и других параметров, характеризующих мутность вод [17]. В данной работе использовался алгоритм [15], в котором связь между концентрацией суммарного взвешенного вещества и коэффициентом яркости водной поверхности и первичными гидрооптическими характеристиками выражается следующими соотношениями:

$$TSM = \frac{A \cdot \rho_w(\lambda)}{C - \rho_w(\lambda)}, \text{ г/м}^3, \quad \text{где } A = \frac{a_{np}}{b_{bp}}, \quad C = \frac{b_{bp}}{a_p}, \quad (1)$$

где A , C – калибровочные коэффициенты; $\rho_w(\lambda)$ – коэффициент яркости водной поверхности на длине волны λ ; a_{np} – поглощение молекулами воды и желтым веществом; b_{bp} – рассеяние назад на частицах взвеси; a_p – поглощение частицами взвеси.

Калибровочные коэффициенты A и C получены на основании многолетних данных натурных измерений, проведенных различными авторами, для диапазона длин волн 520 – 885 нм. Максимальная ошибка определения концентрации суммарного взвешенного вещества по этому алгоритму с использованием данных *MODIS* составила менее 40 %, при этом примерно 10 % ошибки связано с точностью определения коэффициента яркости водной поверхности по спутниковым данным. При определении концентрации суммарного взвешенного вещества по данным камеры МСУ-100 использовались следующие значения калибровочных коэффициентов: $A = 289,29 \text{ г/м}^3$, $C = 0,1686$.

Для определения параметров аэрозоля по спутниковым данным оптический сканер должен иметь минимум два спектральных канала в ближней инфракрасной области, расположенных в пределах окон пропускания атмосферными газами солнечного излучения [3, 4]. На камере МСУ-100 в этой области спектра имеется только один достаточно широкий канал, что за-

трудняет выполнение атмосферной коррекции. В случае невозможности точного определения параметров аэрозоля по собственным спектральным каналам сенсора, для атмосферной коррекции часто используют данные других спутников. Например, для сенсора *WVC (Wide View CCD Camera)* китайских миниспутников класса *HJ-1*, характеристики которого схожи с комплексом *КМСС* и имеется только один канал в ближнем инфракрасном диапазоне, по данным *MODIS* определялась оптическая толщина аэрозоля, которая потом использовалась для дальнейшей атмосферной коррекции в модуле *FLAASH* ПО *Envi* [10].

В данной работе для выполнения атмосферной коррекции использован схожий подход. Ближайший по времени снимок *MODIS* обрабатывался в программе *SeaDAS* (<https://seadas.gsfc.nasa.gov/>). Т.к. исследования относятся к мутным водам со значительным содержанием взвешенного вещества, то атмосферная коррекция выполнялась по смешанному *NIR-SWIR* алгоритму, оптимально подходящему для прибрежных вод [18]. В результате атмосферной коррекции вычислялся параметр ε , характеризующий тип аэрозоля и равный отношению коэффициентов яркости аэрозольного рассеяния на двух длинах волн ближнего инфракрасного диапазона. Традиционно параметр $\varepsilon(748,869)$ используется для экстраполяции коэффициента яркости аэрозольного рассеяния из инфракрасной в видимую область спектра.

$$\varepsilon(748,869) = \frac{\rho_a(748)}{\rho_a(869)}, \quad (2)$$

где $\rho_a(\lambda)$ – коэффициент яркости аэрозольного рассеяния на длинах волн 748 и 869 нм.

Далее величина $\varepsilon(748,869)$, определенная по снимку *MODIS*, использовалась для определения коэффициента яркости аэрозольного рассеяния на длинах волн 555 и 655 нм снимка *МСУ-100* по следующим соотношениям:

$$\varepsilon(\lambda_i, 869) = \varepsilon(748, 869)^{\delta_i}, \quad \text{где } \delta_i = \frac{869 - \lambda_i}{869 - 748}; \quad (3)$$

$$\rho_a(\lambda_i) = \varepsilon(\lambda_i, 869) \rho_a(869). \quad (4)$$

Принимая во внимание только члены нулевого порядка точности (яркость аэрозольного и молекулярного рассеяния), коэффициент яркости водной поверхности может быть определен следующим образом [19]:

$$\rho_w(\lambda) = \frac{\rho_t(\lambda) - \rho_r(\lambda) - \rho_a(\lambda)}{t_v}, \quad (5)$$

где $\rho_r(\lambda)$, $\rho_a(\lambda)$ – коэффициенты яркости молекулярного и аэрозольного рассеяния; t_v – диффузное пропускание атмосферы в направлении угла визирования сенсора.

Точность измерений абсолютных значений спектральной яркости камерами *КМСС* обеспечивается предполетной и полетной кросс-калибровкой по данным спектрорадиометра *MODIS/Terra* [14] и составляет 6 – 7 %. Анализ спектров коэффициента яркости на верхней границе атмосферы по данным *КМСС* и *MODIS* [20], проведенный для различных природных объектов, включая водную поверхность, показал их хорошее соответствие. Однако анализ выбранных для данного исследования снимков *МСУ-100* и *MODIS/Terra*

показал хорошее соответствие коэффициента яркости на всех длинах волн только для чистых и относительно чистых вод. Для мутных вод, например, Азовского и Каспийского моря, на длине волны 555 нм коэффициенты яркости на верхней границе атмосферы имеют близкие значения, а на длинах волн 655 и 830 нм – отличаются на 30 – 120 % при близких значениях зенитных углов Солнца и визирования обоих сканеров.

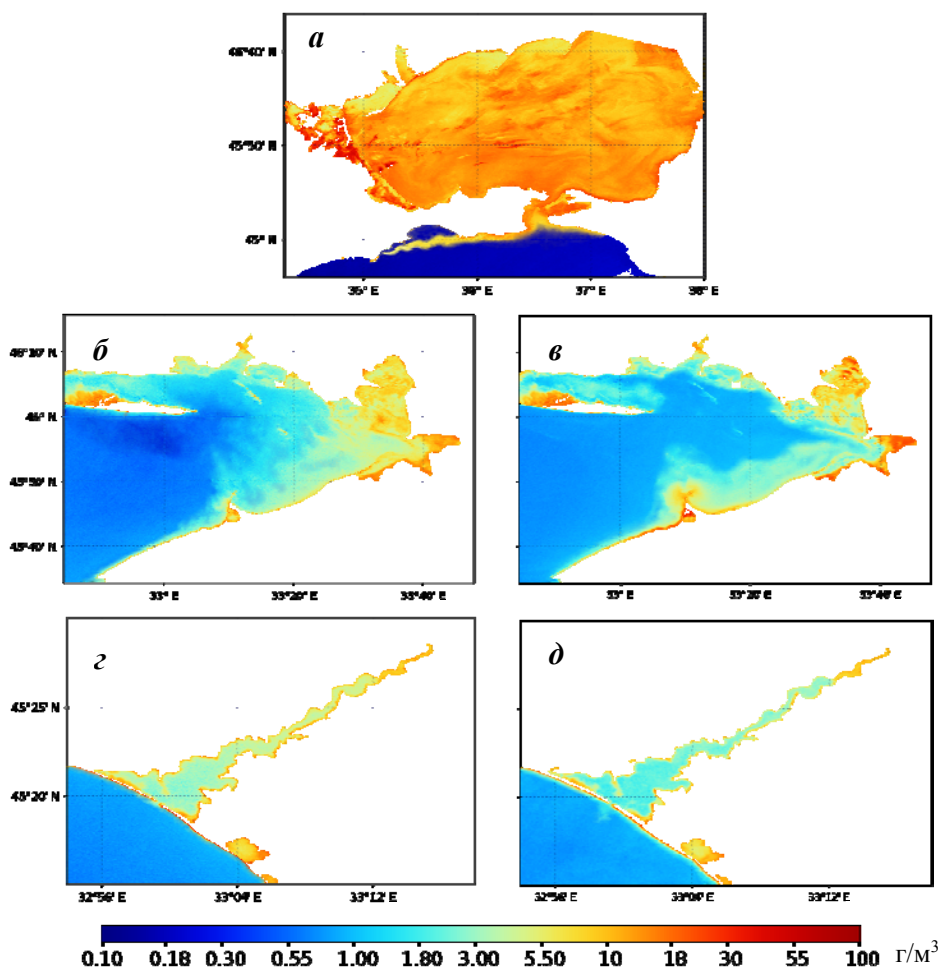
Вследствие такой разницы значения коэффициента яркости на верхней границе атмосферы на длине 655 нм $\rho_r(655)$ перед их использованием в соотношении (5) корректировались на величину $\rho_{cor}(655)$, равную смещению максимумов гистограмм, построенных по данным снимков МСУ-100 и *MODIS/Terra*. Для обработки снимков камеры МСУ-100 был написан программный код, а визуализация этих данных выполнялась в программе *SeaDAS*.

Основные результаты. Результаты расчетов концентрации суммарного взвешенного вещества по данным камеры МСУ-100 приведены на рис.1 и 2. Естественно, что калибровочные коэффициенты в соотношении (2) требуют уточнения по данным контактных подспутниковых измерений, но в целом, можно отметить, что полученные оценки соответствуют наблюдениям.

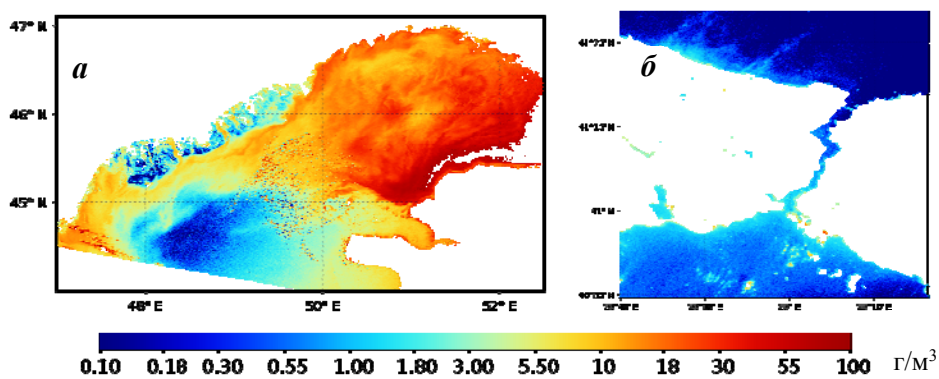
Пространственное распределение суммарного взвешенного вещества в Азовском море 22 мая 2015 г. показано на рис.1, а. Под действием ветра северо-восточного направления 10 – 12 м/с (данные о ветре – Морской портал Морского гидрофизического института http://dvs.net.ru/mp/data/main_ru.shtml) имело место взмучивание вод Азовского моря и их вынос в виде тонкой струи в Черное море практически до пгт.Оржоникидзе (юго-восточная часть Крымского п-ова, мыс Киик-Атлама). Распределение суммарного взвешенного вещества по Азовскому морю практически однородно 8 – 12 г/м³. Более интенсивное взмучивание наблюдается в области кос Бердянской, Обиточной и Бирючий остров, а также Арабатской стрелки и Керченского и Таманского п-овов. Концентрация взвеси в этих районах составляет 14 – 18 г/м³. Эти значения хорошо согласуются с многолетними натурными измерениями, проводимыми Южным научным центром РАН (ЮНЦ РАН) [21]. По их данным концентрация суммарной взвеси в разные сезоны изменяется в широких диапазонах от 0,4 до 851 г/м³. При этом самые большие величины наблюдаются в устье Дона и Таганрогском заливе. Для центрального района Азовского моря характерные значения составляют 10 – 20 г/м³.

В Таманском заливе и северной части Керченского пролива концентрация взвеси составляет примерно 16 – 20 г/м³, в южной части Керченского пролива уменьшается до 7 – 10 г/м³, в Керченской бухте – 12 – 15 г/м³. Эти величины также соответствуют наблюдениям. По данным ЮГНИРО [22] в районе Керченской бухты и мыса Белый в мае 2015 г. значения концентрации суммарного взвешенного вещества составляли 9 – 14 г/м³. В совместной экспедиции Морского гидрофизического института и ЮНЦ РАН в сентябре 2011 г. вдоль Керченского пролива наблюдались величины 4 – 20 г/м³ [23], а в апреле 2009 г. в проливе и районе о.Тузла – 5 – 17 г/м³ [24].

На рис.1, б, в показано распределение суммарного взвешенного вещества 17 и 22 августа 2015 г. в Каркинитском заливе (северо-западная часть Черного моря). Этот район характеризуется повышенной мутностью вод, связанной со взмучиванием донных осадков и циркуляцией вод. Вследствие



Р и с . 1 . Концентрация суммарного взвешенного вещества ($\text{г}/\text{м}^3$) по данным сенсора МСУ-100: Азовское море, 22 августа 2015 г. (а); Каркинитский залив, 17 (б) и 22 (в) августа 2015 г.; озеро Донузлав, 17 (г) и 22 (д) 2015 г.



Р и с . 2 . Концентрация суммарного взвешенного вещества ($\text{г}/\text{м}^3$) по данным сенсора МСУ-100: Каспийское море, 25 августа 2015 г. (а); пролив Босфор, 3 ноября 2016 г. (б).

переноса и перераспределения взвеси происходит постепенное уменьшение площади Бакальской косы.

17 августа 2015 г. в этом районе наблюдался ветер северо-западного направления со скоростью 5 – 7 м/с, что привело к практически перпендикулярному набеганию волн на берег и распространению взвеси в обратном направлении. Концентрация взвеси в большей части Каркинитского залива составила 0,5 – 0,6 г/м³, а во взмученной его части 1 – 3 г/м³. При таком действии ветра и волн взмучивание донного материала интенсивно происходило только у западной части Бакальской косы, где величины концентрации взвеси составляли 4 – 7 г/м³. У восточной части косы образовалась область застоя со значительно меньшими концентрациями (1,5 – 2,5 г/м³).

22 августа 2015 г. ветер переменял направление на северо-восточное, вследствие чего направление волн и взвеси происходило практически параллельно береговой черте в сторону глубоководной части моря. Величины концентрации в Каркинитском заливе составили 0,7 – 1,0 г/м³, а вдоль берега 2 – 3 г/м³. При таком направлении ветра и волн взмучивание песка происходит с обеих сторон Бакальской косы и локализуется в области промоины, разделяющей голову косы от ее тела. Величины концентрации взвеси здесь составляют 4 – 10 г/м³.

В ходе экспедиционной деятельности Морского гидрофизического института в северо-западной части Черного моря в 1978 – 1995 гг. [25] в весенний период в Каркинитском заливе и в районе мыса Тарханкут зафиксированы значения концентрации суммарного взвешенного вещества около 0,75 – 0,8 г/м³, что согласуется со значениями, полученными по спутниковым данным.

На рис.1, з, д приведено распределение суммарного взвешенного вещества в озере Донузлав 17 и 22 августа 2015 г. По приведенным снимкам можно сделать следующие выводы. Под действием менее сильного северо-западного ветра со скоростью около 5 м/с на акватории озера наблюдаются несколько большие значения концентрации взвеси, чем при более сильном западном ветре со скоростью около 10 м/с. В обоих случаях наблюдается увеличение мутности по мере удаления от глубоководной в мелководную опресненную часть озера. Концентрация суммарного взвешенного вещества в глубоководной части озера составляет 1,7 – 3,7 г/м³, в средней части 2 – 5,5 г/м³ и в мелководной части 8 – 12 г/м³.

На рис.2 приведено распределение суммарного взвешенного вещества в северной части Каспийского моря и в районе пролива Босфор. Отсутствие доступных результатов исследований взвешенного вещества в этих районах затрудняет анализ полученных по спутниковым данным оценок. Однако видно, что относительно высокая детализация снимков МСУ-100 на основе данных о суммарной взвеси позволяет исследовать как процессы перераспределения взвеси в пределах бассейна, так и источники поступления взвеси из рек и каналов.

Заключение и выводы.

1. Отсутствие собственных двух каналов в ближней инфракрасной области камеры МСУ-100 российских спутников гидрометеорологического назначения типа «Метеор-М» № 1 и «Метеор-М» № 2 требует введения до-

полнительной информации о параметрах аэрозоля для выполнения с требуемой точностью атмосферной коррекции снимка.

2. Данные инфракрасного канала МСУ-100 не позволяют с достаточной точностью производить идентификацию пикселей снимка, не относящихся к воде: облаков, тени от облаков и гор, плавсредств.

3. Значения яркости уходящего излучения на верхней границе атмосферы на длинах волн 655 и 830 нм по данным камеры МСУ-100 отличаются на 30 – 120 % от близких по времени данных спектрорадиометра *MODIS*. Такая особенность проявляется исключительно в мутных водах, что, возможно, говорит о необходимости дополнительной калибровке указанных каналов.

3. Несмотря на указанные недостатки прибора, приведенная методика позволяет по данным камеры МСУ-100 вычислять концентрацию суммарного взвешенного вещества. Полученные оценки достаточно хорошо согласуются с наблюдениями. Относительно высокое пространственное разрешение (50 – 60 м) снимков позволяет исследовать процессы перераспределения взвеси и источники ее поступления в береговой зоне и мелководных водоемах.

Работа выполнена в рамках Госзадания по теме № 0827-2014-0011 «Исследования закономерностей изменений состояния морской среды на основе оперативных наблюдений и данных системы диагноза, прогноза и реанализа состояния морских акваторий».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горбунов А.В., Чуркин А.Л., Павлов Д.А. Космический комплекс гидрометеорологического и океанографического обеспечения «Метеор-3М» с космическим аппаратом «Метеор-М» // Вопросы электромеханики.– 2008.– т.105.– С.17-28.
2. Дядюченко В.Н., Селин В.А., Шилов А.Е. и др. Развитие космического комплекса гидрометеорологического и океанографического обеспечения на базе системы полярно-орбитальных ИСЗ серии “Метеор-М” // Исследование Земли из космоса.– 2010.– № 1.– С.13-19.
3. IOCCG Report #1. Minimum Requirements for an Operational Ocean-Colour Sensor for the Open Ocean / Ed. by A.Morel.– 1998.– 46 p.
4. IOCCG Report #13. Mission Requirements for Future Ocean-Colour Sensors / Ed. by Ch.R.McClain and G.Meister.– 2012.– 106 p.
5. Franz B.A., Bailey S.W., Kuring N.A. et al Ocean color measurements with the operational land imager on Landsat-8: implementation and evaluation in SeaDAS // J. App. Remote Sens.– 2015.– v.9.– 096070. doi:10.1117/1.JRS.9.096070
6. Vanhellemont Q., Ruddick K. Turbid wakes associated with offshore wind turbines observed with Landsat-8 // Remote Sensing Environment.– 2014.– v.148.– P.105–115. doi:10.1016/j.rse.2014.01.009
7. Zhang Y., Pulliainen J.T., Koponen S.S. et al Water quality retrievals from combined Landsat TM Data and ERS-2 SAR Data in the Gulf of Finland // IEEE Transactions on geoscience and remote sensing.– 2003.– v.41, № 3.– P.622–629. doi:10.1109/TGRS.2003.808906
8. Pahlevan N., Sheldon P., Peri F. et al Calibration/validation of Landsat-derived ocean colour products in Boston Harbour // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences.– 2016.– v.XLI-B8.– P.1165-1168. doi:10.5194/isprsarchives-XLI-B8-1165-2016
9. Wang J.J., Lu X.X., Liew S.C. et al Retrieval of suspended sediment concentrations in

- large turbid rivers using Landsat ETM+: an example from the Yangtze River, China // *Earth Surf Process Landforms*.– 2009.– v.34(8).– P.1082-1092. doi:10.1002/esp.1795
10. *Yu Z., Chen X., Zhou B. et al* Assessment of total suspended sediment concentrations in poyang lake using HJ-1A/1B CCD imagery // *Chinese J. of Oceanology and Limnology*.– 2012.– v.30, № 2.– P.295-304. doi:10.1007/s00343-012-1094-y
 11. *Li J., Tian L., Chen X. et al* Remote-sensing monitoring for spatio-temporal dynamics of sand dredging activities at Poyang Lake in China // *Int. J. Remote Sensing*.– 2014.– v.35, № 16.– P.6004-6022. doi:10.1080/01431161.2014.939783
 12. *Sentinel-3 User Handbook*. Report GMES-S3OP-EOPG-TN-13-0001.– 2013.– Is.1, Rev.0.– 150 p.
 13. *Макриденко Л.А., Волков С.Н., Горбунов А.В. и др.* Космический аппарат гидрометеорологического и океанографического наблюдения «Метеор-М» №1 // *Вопросы электромеханики*.– 2009.– т.108.– С.44-55.
 14. *Жуков Б.С., Кондратьева Т.В., Полянский И.В. и др.* Полетная радиометрическая кросс-калибровка комплекса многозональной спутниковой съемки на КА «Метеор-М» №1 по спектрорадиометру MODIS на КА Terra // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*.– 2014.– т.11, № 2.– С.123-137.
 15. *Nechad B., Ruddick K.G., Park Y.* Calibration and validation of a generic multisensor algorithm for mapping of total suspended matter in turbid waters // *Remote Sensing of Environment*.– 2010.– v.114.– P.854-866. doi:10.1016/j.rse.2009.11.022
 16. *Chen Z., Hanson J.D., Curran P.J.* The form of the relationship between suspended sediment concentration and spectral reflectance: its implications for the use of Daedalus 1268 data // *Int. J. Remote sensing*.– 1991.– v.12, № 1.– P.215-222. doi:10.1080/01431169108929647
 17. *Devlin M.J., Barry J., Mills D.K. et al* Relationships between suspended particulate material, light attenuation and Secchi depth in UK marine waters // *Estuarine, Coastal and Shelf Science*.– 2008.– v.79.– P.429-439. doi:10.1016/j.ecss.2008.04.024
 18. *Wang M., Shi W.* The NIR-SWIR combined atmospheric correction approach for MODIS ocean color data processing // *Optics express*.– 2007.– v.15, № 24.– P.15722-15733.
 19. *Moblely C.D., Werdell J., Franz B. et al* Atmospheric correction for satellite ocean color radiometry. a tutorial and documentation of the algorithms used by the NASA ocean biology processing group.– Greenbelt, MD, USA: NASA Goddard Space Flight Center, 2016.– 75 p.
 20. *Кондратьева Т.В., Жуков Б.С., Полянский И.В. и др.* Сопоставление коэффициентов яркости природных объектов по данным КМСС на КА «Метеор-М» № 1 и MODIS на КА «Терра» // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*.– 2015.– т.12, № 1.– С.215-224.
 21. *Кушнир В.М., Поважный В.В., Бердников С.В.* Минеральная и органическая компоненты взвеси по данным космических съемок и непосредственных измерений в Азовском море и Керченском проливе // *Морской гидрофизический журнал*.– 2014.– № 2.– С.22-31.
 22. *Боровская Р.В., Ломакин П.Д., Панов Б.Н. и др.* Океанографические исследования ЮгНИРО в Азово-Черноморском бассейне с использованием информации с ИСЗ / *Труды ЮгНИРО*.– т.48, спецвыпуск.– Керчь: ЮгНИРО, 2009.– 78 с.
 23. *Иванов В.А., Матишов Г.Г., Кушнир В.М. и др.* Керченский пролив в осенний период 2011 года: результаты совместных комплексных исследований, выпол-

ненных в экспедиции МГИ НАН Украины и ЮНЦ РАН // Морской гидрофизический журнал.– 2014.– № 1.– С.44-57.

24. *Ломакин П.Д., Чепыженко А.И., Чепыженко А.А.* Динамика вод и взвешенного вещества в районе о. Тузла (Керченский пролив) при устойчивых меридиональных ветрах // Геология и полезные ископаемые Мирового океана.– 2012.– № 2.– С.72-83.
25. *Кукушкин А.С., Агафонов Е.А., Бурлакова З.П. и др.* Изменчивость прозрачности и содержание взвешенного вещества в поверхностном слое северо-западной части Черного моря // Океанология.– 2004.– т.44, № 6.– С.870-881.

Материал поступил в редакцию 20.10.2017 г.

S.V.Fedorov

POSSIBILITIES OF CAMERAS ABOARD "METEOR-M" SATELLITE FOR DETERMINATION OF THE TOTAL SUSPENDED MATTER CONCENTRATION

The characteristics of multispectral satellite imaging system aboard Russian meteorological spacecrafts "Meteor-M" No. 1 and "Meteor-M" No. 2 are given. It is proposed an algorithm for calculation of the total suspended matter on the base of data of the MSU-100 camera on Meteor-M satellites No. 2, which provided by Roscosmos through open data portal. Total suspended matter concentration for some areas of the Azov and Black Seas and their comparison with the field measurement data are given.

KEYWORDS: total suspended matter, multispectral imaging of sea surface, MSU-100, Meteor-M