

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МУЛЬТИ- И ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫХ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МОНИТОРИНГА РЕК И ВОДОЁМОВ В ВЕСЕННИЙ ПЕРИОД

Аншаков Г.П., Журавель Ю.Н., Ращупкин А.В.  
Самарский научный центр Российской академии наук,  
АО «РКЦ «Прогресс», г. Самара

### Аннотация

Данные дистанционного зондирования являются современным инструментом оперативного получения сведений о возможных чрезвычайных ситуациях природного характера. В статье рассматриваются возможности использования гиперспектральных данных космического аппарата «Ресурс-П» №1 для оценки состояния ледового покрова на Волге и озёрах Самарской области, а также для мониторинга экологического состояния рек и водоёмов в весенний период.

**Ключевые слова:** дистанционное зондирование Земли, гиперспектральные данные, мультиспектральные данные, оптические свойства льда, индексное изображение.

### Введение

Ежегодный мониторинг процессов формирования и разрушения ледового покрова на реках и водоёмах позволяет решать две взаимосвязанные задачи: прогнозирование масштабов возможных паводков и оценка динамики изменения климата. В связи с этим существует потребность в заблаговременных и качественных гидрологических прогнозах стоков рек. Для решения этой проблемы необходимо совершенствовать систему получения и передачи оперативной информации о запасе воды и снега в речном бассейне заинтересованные ведомства. Помимо наземных измерений и наблюдений, важное значение здесь имеют данные дистанционного зондирования Земли, которые позволяют определять точное местоположение и протяжённость ледяных затоплений, выявлять потенциально опасные участки русла, различные препятствия (острова, конусы выноса и т.п.), а также отслеживать начало ледостава и весеннего таяния.

Исследования тенденций изменения климата по многолетним наблюдениям даты и скорости вскрытия ото льда озёр и водохранилищ на протяжении нескольких десятилетий проводятся, в частности, на территории Северо-запада США и Канады (от 60° с.ш. / 105° з.д. до 40° с.ш. / 85° з.д.) [1].

С 1998 года российскими и зарубежными исследователями для мониторинга льда и снежного покрова используются данные гиперспектрометра MODIS, установленного на КА Terra и Aqua (NASA) и производящего съёмку в 36 спектральных каналах, в том числе 11 – в видимом диапазоне, 9 – в ближнем ИК-диапазоне (*near-infrared range*, NIR), 4 – в коротковолновом ИК-диапазоне (*shortwave infrared range*, SWIR). Геологическая служба США (USGS) через дистрибьюторский центр LP DAAC выставляет в бесплатный доступ пользователям специализированный продукт MOD10, представляющий собой ежедневную (или 8-дневную) карту глобального снегового, а также ледового покрытия на больших внутренних водоёмах [2]. Составляемые по космическим снимкам прогнозы предполагаемой даты вскрытия ледового покрова имеют высокую корреляцию с прогнозами наземных станций, причём снимки позво-

ляют обнаруживать большие ледяные заторы, особенно в местах впадения притоков. Однако заторы меньшего размера обнаружить не удаётся из-за низкого пространственного разрешения данных (500 м), что недостаточно для мониторинга малых рек и водоёмов, которые могут полностью или частично теряться на снимках.

Более высоким пространственным разрешением обладают снимки с КА Landsat-8 (США), также находящиеся в свободном доступе на сервисах USGS, но периодичность наблюдения заданного района составляет 16 суток. Кроме того, часть областей интереса в момент проведения съёмки может быть закрыта облаками. Таким образом, имеющихся данных явно недостаточно для оценки стремительно меняющейся ситуации.

Традиционно для оценки ледовой обстановки используются продукты всепогодной оперативной радиолокационной спутниковой съёмки. В ходе выполнения ряда проектов [3] специалистами были отработаны методики ежесуточной комбинированной съёмки заданных районов спутниками с радарной и оптической аппаратурой высокого и среднего разрешения. Однако в российской орбитальной группировке на данный момент отсутствуют КА, оснащённые такой аппаратурой, а данные с зарубежных КА, в частности, Radarsat-1 и Radarsat-2, имеют высокую стоимость.

В связи с перечисленными выше проблемами представляет интерес изучение возможности совместного использования мультиспектральных данных КА Landsat-8 и гиперспектральных данных российского КА «Ресурс-П» №1 в решении задач автоматизированного мониторинга рек и водоёмов. КА «Ресурс-П» может вести съёмку объектов интереса с периодичностью 2–3 суток (в зависимости от географической широты). Наличие в гиперспектральной аппаратуре большого количества узких спектральных каналов существенно повышает информативность получаемых изображений, что позволяет эффективно применять различные методы обработки и обнаруживать специфические признаки объектов интереса [4–8].

### 1. Постановка задачи

Технологии мониторинга рек и водоёмов основаны на большом различии между отражательной спо-

способностью льда и открытой воды в видимом и ближнем ИК-диапазонах электромагнитного спектра.

В данной работе для оценки ледовой обстановки и экологического состояния водных объектов применяются следующие методы:

- визуальное дешифрирование псевдоцветных композиций;
- построение индексных изображений;
- классификации по методу спектрального угла (SAM, Spectral Angle Mapper).

## 2. Оптические свойства воды и снежно-ледового покрова

Падающее на поверхность снежно-ледового покрова солнечное излучение частично отражается, а частично проходит вглубь него, ослабляясь в результате рассеяния и поглощения, при этом глубина проникновения света составляет не более 0,5 м в синей части спектра и всего несколько миллиметров в ближнем и тепловом ИК-диапазонах. Рассеянный свет распространяется во всех направлениях, в том числе выходит через облучаемую поверхность, поэтому лёд выглядит голубым и даже изумрудным, а при наличии во льду значительного количества воздушных включений он приобретает белый цвет [9–12].

Распространение света в снежно-ледовом покрове в общем случае описывается уравнением переноса излучения. Однако следует учитывать, что уравнение переноса можно применять лишь в том случае, когда расстояние между центрами рассеяния (кристаллами льда, воздушными включениями) много больше длины волны падающего излучения. Иначе неприменимо само понятие прямого света, так как при прохождении узконаправленных пучков излучения через слои снега и льда на выходе будут отсутствовать фотоны, которые в результате взаимодействия с частицами не изменили бы направления первоначального распространения. Но если рассеянный свет распространяется под углами, близкими к направлению падения исходного излучения, то использование уравнения переноса допустимо.

Модель рассеивания для любой гранульной среды имеет два набора входных параметров: показатель преломления составляющих среду веществ и распределение размеров и формы частиц.

Оптические свойства воды в жидком и твёрдом состоянии изменяются в соответствии с комплексным показателем преломления для определённой длины волны излучения:

$$N = n + ik, \quad (1)$$

где  $n = c_0 / c$  – абсолютный показатель преломления, равен отношению скорости света в вакууме к скорости света в среде;

$k$  – экстинкция (показатель светоослабления), связан с объёмным коэффициентом молекулярного поглощения среды и определяется выражением:

$$dI / I = - (4\pi k / \lambda) dx, \quad (2)$$

описывающим, как ослабляется излучение интенсивности  $I$  на длине волны  $\lambda$ , проходя в чистой среде расстояние  $x$ .

В то время, как в вещественной части  $n$  возможны небольшие вариации, достаточные для возникновения радуги, мнимая часть  $k$  показателя преломления в интервале от видимого до ближнего ИК-диапазона увеличивается почти в 7 раз.

На рис. 1 представлены зависимости вещественной (рис. 1а) и мнимой (рис. 1б) частей комплексного показателя преломления для воды и льда в диапазоне 0,4–2,5 мкм.

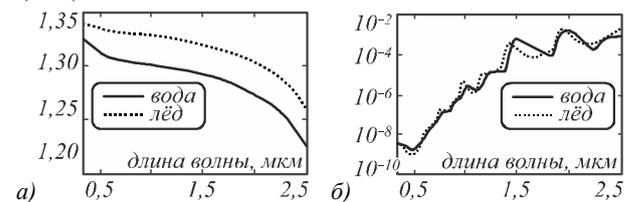


Рис. 1. Зависимость комплексного показателя преломления от длины волны

Оптические свойства льда могут существенно различаться в зависимости от его типа. В видимой части спектра лёд имеет высокую прозрачность, но его альbedo может меняться в соответствии с количеством и типом посторонних включений. Отражение снега довольно высоко в видимом диапазоне (альbedo на уровне ~ 0,94–0,98) и очень быстро убывает на более длинных волнах, после 700 нм.

Величина излучения, зафиксированного аппаратурой при наблюдении подстилающей поверхности, может изменяться в зависимости от ряда факторов: состояния атмосферы, наличия дымки и облачности, теней от облаков, а также условий съёмки, в особенности высоты Солнца. Кроме того, отражательные свойства льда зависят от его шероховатости и возраста, состава приповерхностного слоя воды, наличия посторонних включений. Речной лёд формируется при воздействии течения, которое влияет на его толщину. Лёд на озёрах образуется в менее динамичных условиях, поэтому у него более гладкая поверхность. Увеличение размера кристаллов приводит к уменьшению отражения по всему спектральному диапазону от видимого до коротковолнового ИК (350–2500 нм). Для разных типов льда расхождение в форме кривых начинается после 600 нм (рис. 2). Лёд, закрытый снегом, выглядит на снимках более ярким, чем окружающая поверхность.

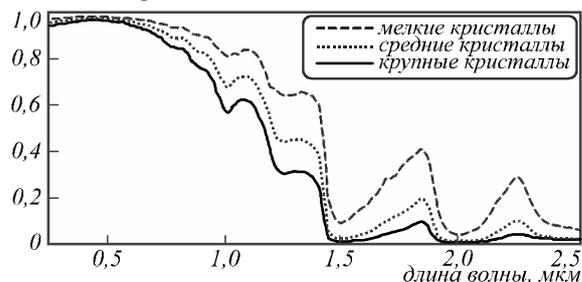


Рис. 2. Спектральный коэффициент отражения снежно-ледового покрова

### 3. Исходные данные

Для повышения достоверности тематической обработки космоснимков в качестве уточняющей информации необходимо использовать наземные и метеорологические данные, поэтому для исследований из имеющегося архива были отобраны два снимка территории Самарской области в окрестностях города Самары: за 14 и 27 марта 2014 года (рис. 3).

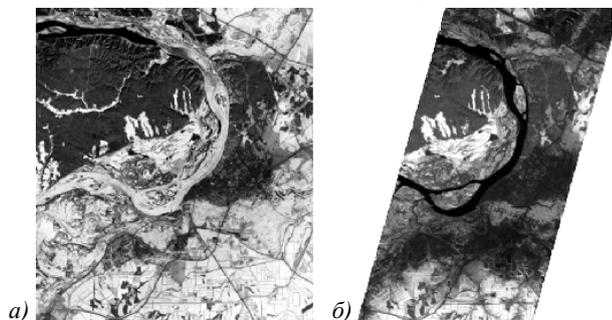


Рис. 3. Космические снимки территории Самарской области:

Landsat-8, 14.03.2014 (а), «Ресурс-П», 27.03.2014 (б)

Для дальнейшей обработки на снимке Landsat-8 был вырезан фрагмент, соответствующий полосе захвата гиперспектральной аппаратуры КА «Ресурс-П» (ГСА-РП).

Характеристики спектральных каналов аппаратуры (за исключением тепловых каналов Landsat-8) приведены в табл. 1. Пространственное разрешение надирных снимков составляет 30 м. Анализ проводился по данным OLI в каналах №4 и №5 и ОЭП-2 ГСА-РП. Использование информации, зафиксированной в этих каналах, позволяет не только автоматизировать процесс мониторинга, но и повысить наглядность визуализации за счёт использования псевдоцветов.

Для контроля результатов дешифрирования снимков использовались данные Федерального агентства водных ресурсов [13] и поисково-спасательной службы (ППСС) Самарской области [14]. По состоянию на 10 марта на реках Самарской области неблагоприятных гидрологических явлений не отмечено. На Саратовском и Куйбышевском водохранилищах наблюдается ледостав. 17 марта в русле Волги стали образовываться промоины (табл. 2, 3). В районе Красной

Глинки на стрежне реки ледовое поле отсутствует. Промоины в этом месте соединились. Ниже по течению лёд также размывается.

С 18 марта подразделения поисково-спасательной службы прекращают отслеживать толщину льда на водоёмах в зонах ответственности в связи с отсутствием такового. 26 марта начала работать речная переправа по маршруту «Самара-Рождество».

Табл. 1. Спектральные каналы аппаратуры

OLI (Landsat – 8)		ГСА-РП	
Канал	Длина волны, нм	Число каналов	Длина волны, нм
1	433–453	не менее 96	395–643 (ОЭП-1) 630–998 (ОЭП-2)
2	450–515		
3	525–600		
4	630–680		
5	845–885		
9	1360–1390		
6	1560–1660		
7	2100–2300		

### 4. Обработка мультиспектральных и гиперспектральных данных

#### Подготовительный этап

Обязательным предварительным этапом при выявлении ледового покрова и открытой воды по снимку является создание векторной маски водных объектов, позволяющей ограничить область анализа и избежать тем самым некорректных результатов. В соответствии с указанными ранее отражательными свойствами водных поверхностей для этих целей проводится пороговая обработка NIR-канала летнего снимка исследуемого региона. Значение порога выбирается эмпирическим путём, по результатам многочисленных экспериментов в качестве порогового значения используется величина спектрального коэффициента отражения 0,05. Единственным проблемным объектом на изображении, затрудняющим классификацию, являются тени от облаков, имеющие сходную спектральную характеристику с водой [15, 16].

Табл. 2. Состояние и толщина льда на реке Волге на 13.03.2014

ППСС	Левый берег			Фарватер	Правый берег		
Расстояние до берега, м	0–200	300	400–500		800	400–300	100–0
«Первомайская»	20 см	20 см майна	20 см майна	20 см майна	40 см	45 см	40 см
«Поляна Фрунзе»	35 см	30 см	27 см	26–28 см промоины	35 см	30 см	28 см
«Красная Глинка»	35–40 см	30–35 см	30 см	10–15 см промоины	Протока 40 см		

Табл. 3. Состояние и толщина льда на реке Волге на 17.03.2014

ППСС	Левый берег			Фарватер	Правый берег		
Расстояние до берега, м	0-200	300	400-500		800	400-300	100-0
«Первомайская»	20 см	20 см майна	20 см майна	15 см майна	Промоины		
«Поляна Фрунзе»	15-17 см	Промоины					
«Красная Глинка»	20 см	Промоины			Протока 20 см промоины		

По результатам анализа имеющегося архива данных для построения маски использовался снимок КА Landsat-8 за 22 сентября 2014 года, так как на нём минимальный процент облачности по сравнению с другими доступными снимками выбранной территории (рис. 4). В пределы построенной маски попадают пиксели воды, а также береговой линии (смешанные пиксели «вода+суша»). При последующем наложении изображений, полученных разными КА, может возникать сдвиг из-за погрешности в точности геопривязки. Кроме того, возможно незначительное изменение ширины реки из-за колебания уровня воды.

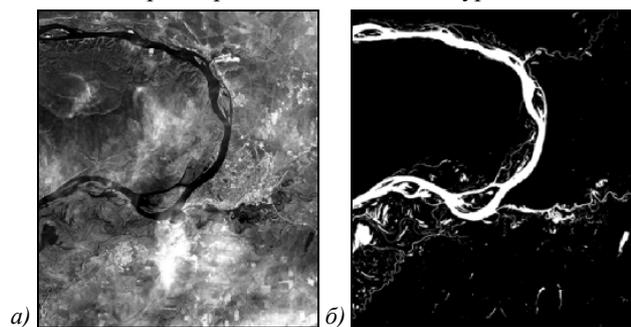


Рис. 4. Построение маски водных объектов по снимку Landsat-8: исходный снимок (а), маска (б)

#### Построение и анализ псевдоцветных композитов

Различия в отображении поверхностей, покрытых и не покрытых льдом, чётко проявляются на псевдоцветных композитах, построенных по каналам видимого и NIR-диапазонов: для синего цвета – канал на длине волны ~650 нм, для зелёного и красного – на длине волны ~850 нм. В таком сочетании цветов лёд выглядит белым или голубым, а вода – тёмно-синей или чёрной. При сравнении изображений, полученных разными датчиками, могут наблюдаться небольшие отличия в цвете объектов из-за разной ширины спектральных каналов.

На рис. 5 представлены композиты, полученные зарубежными специалистами по данным MODIS [17]. Треугольниками показаны начало и конец участков открытой воды.

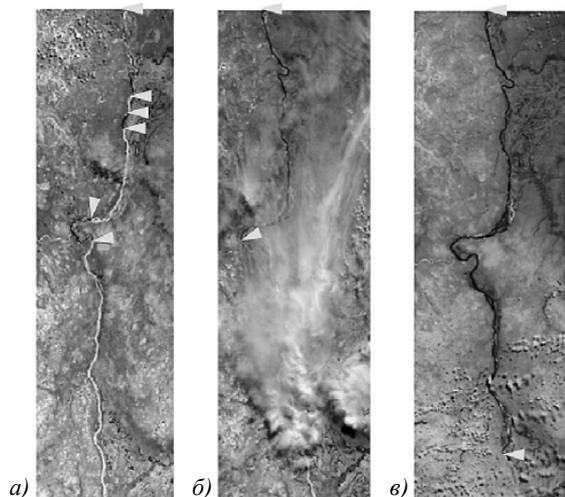


Рис. 5. Пример отслеживания динамики весеннего таяния снега на реке Енисей в 2003 году: 13 мая (а), 14 мая (б), 16 мая (в)

Аналогичные результаты получены нами по данным Landsat-8 и ГСА-РП (рис. 6). На представленных далее увеличенных фрагментах (рис. 7–10) чётко видно начало образования промоин на раннем снимке (14 марта) и практически чистое русло на более позднем снимке (27 марта).

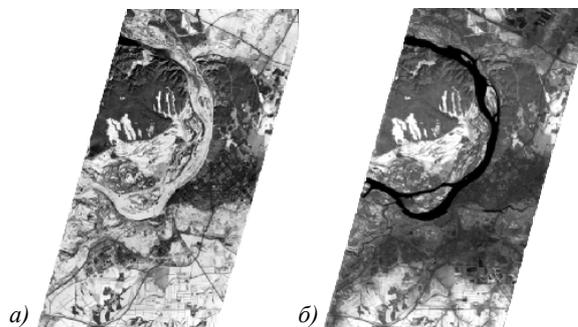


Рис. 6. Маршруты в виде псевдоцветных композитов: 14 марта (а), 27 марта (б)

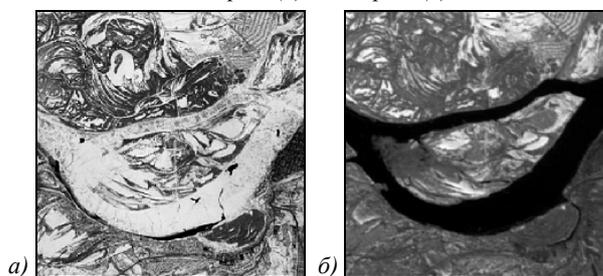


Рис. 7. Увеличенные фрагменты маршрутов (район города Самары): 14 марта (а), 27 марта (б)



Рис. 8. Промоины на Волге в районе Красноармейского спуска (18 марта 2014 года)

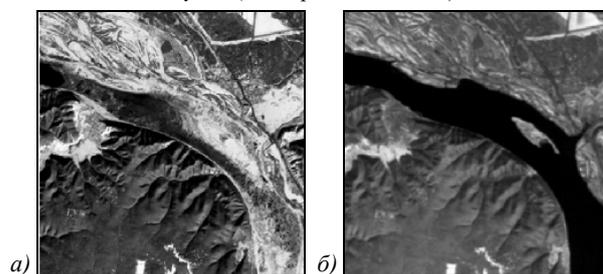


Рис. 9. Увеличенные фрагменты маршрутов (район Красной Глинки): 14 марта (а), 27 марта (б)

#### Использование широкополосных индексов

Мультиспектральные данные позволяют производить классификацию поверхностей путём построения индексных изображений. В частности, наиболее известный метод разделения пикселей снега (льда), воды и облаков – расчёт нормализованного разностного

индекса снега NDSI (Normalized Differenced Snow Index). Первые упоминания о нём появились в литературе в середине 70-х годов прошлого века.



Рис. 10. Отсутствие льда на основном русле в районе Красной Глинки (21 марта 2014 года)

Существует два варианта расчёта NDSI [18, 19]:

$$NDSI_{SWIR} = \frac{L_R - L_{SWIR}}{L_R + L_{SWIR}}, \quad (3)$$

$$NDSI_{NIR} = \frac{L_R - L_{NIR}}{L_R + L_{NIR}}, \quad (4)$$

где  $L_{SWIR}$  – значение сигнала в канале коротковолнового ИК-диапазона,  $L_{NIR}$  – значение сигнала в канале ближнего ИК-диапазона,  $L_R$  – значение сигнала в канале красного диапазона.

Более наглядные результаты получаются при использовании данных диапазона SWIR, но в ГСА-РП такой диапазон отсутствует, поэтому расчёт индекса производился нами по второму варианту (рис. 11).

Для расчёта индексов можно использовать как значения спектральной плотности энергетической яркости (СПЭЯ) на входном зрачке датчика, так и спектральный коэффициент отражения, но нельзя использовать радиометрически неоткалиброванные данные, так как в разных каналах одному и тому же «сырому значению» DN (Digital Number) могут соответствовать разные абсолютные значения физической величины. В данном исследовании использовались значения СПЭЯ. С целью корректного сопоставления результатов, полученных по снимкам КА Landsat-8 и «Ресурс-П», спектральное разрешение данных ГСА-РП было ухудшено путём объединения нескольких каналов.

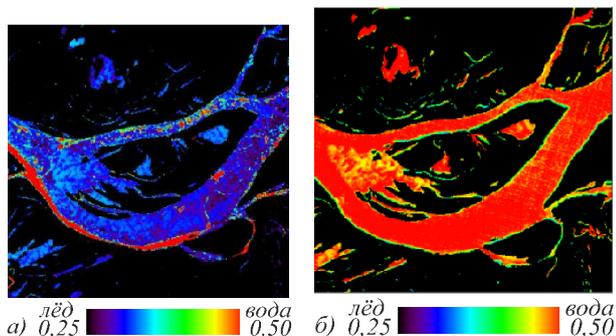


Рис. 11. Индекс NDSI в псевдоцветах: 14 марта (а), 27 марта (б)

Нетрудно заметить, что расчёт индекса NDSI производится по тому же принципу, что и расчёт широкоизвестного вегетационного индекса NDVI. В зарубежной практике, в частности в Канаде [20], имеется опыт использования NDVI для анализа состояния льда на водоёмах и построения псевдоцветных композитов: красный цвет – NDVI, зелёный – канал в NIR, синий цвет – канал в красном диапазоне (рис. 12).

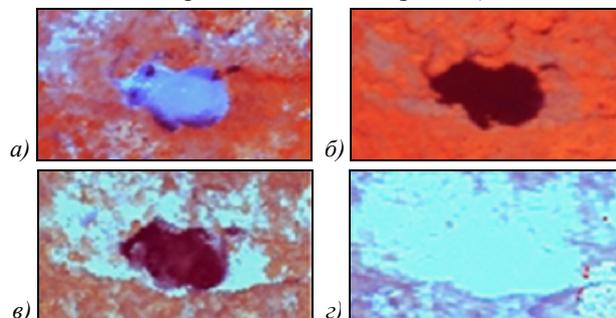


Рис. 12. Фенология озёрного льда по данным радиометра AVHRR: начало разрушения (а), окончание разрушения (б), начало замерзания (в), окончание замерзания (г)

Выполненная обработка снимков Landsat-8 и ГСА-РП подтвердила пригодность использования данного метода визуализации при оценке состояния Волги и её притоков, а также озёр различного размера (рис. 13). Для наглядности в данном случае маска речной сети на изображения не накладывалась.

Построенные цветные композиты позволяют сделать заключение, что 14 марта почти всё русло находится в замёрзшем состоянии. Выше Красной Глинки и чуть ниже Самары образовались промоины. 27 марта основное русло Волги свободно ото льда; на реке Самаре, протоках и малых водоёмах лёд находится в стадии разрушения.

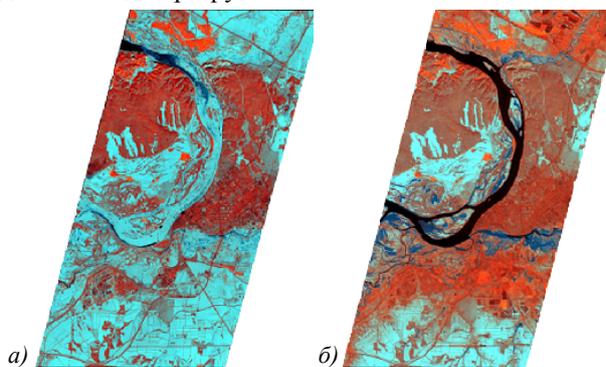


Рис. 13. Визуализация в псевдоцветах с использованием NDVI: 14 марта (а), 27 марта (б)

#### Классификация по методу SAM

Гиперспектральная аппаратура КА «Ресурс-П» фиксирует отражённое от подстилающей поверхности излучение в смежных узких спектральных каналах, поэтому в отличие от данных Landsat-8 позволяет производить обнаружение объектов, имеющих сходные сигнатуры [8]. В рамках данных исследования по методу спектрального угла SAM произведено обнаружение открытой воды и ледового покрова трёх типов с использованием эталонов (рис. 14).

Результаты классификации подтверждают тот факт, что использование данных ГСА-РП позволяет с помощью спектральных эталонов решать задачу обнаружения малоразмерных объектов, занимающих всего несколько пикселей: в частности, льдины в прибрежной полосе (рис. 15).

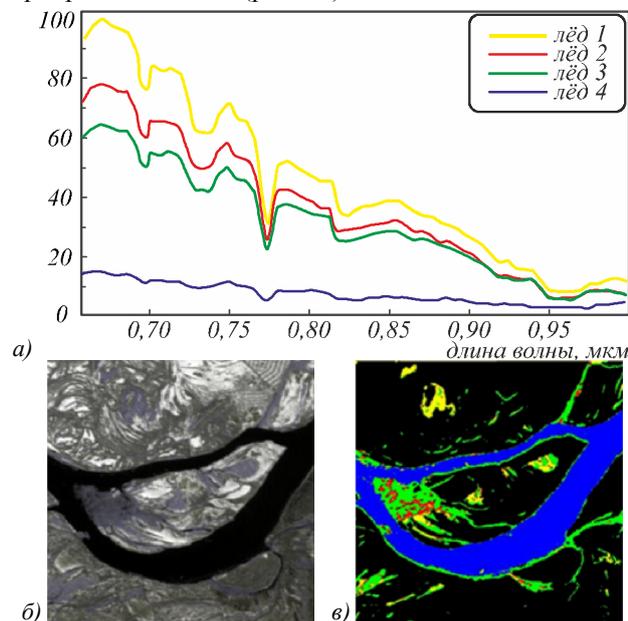


Рис. 14. Обнаружение воды и различных типов льда: СПЭЯ спектральных эталонов (а), исходное изображение (б), результат классификации (в)

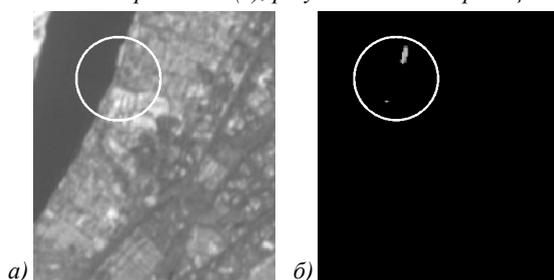


Рис. 15. Обнаружение льдины у берега: фрагмент снимка ГСА-РП 27 марта (а), результат классификации (б), фотоснимок участка пляжа (в)

#### Использование специализированных узкополосных индексов в интересах мониторинга экологического состояния водоёмов

Одним из способов обнаружения специфических признаков, характерных для заданных объектов подстилающей поверхности, является вычисление специализированных узкополосных индексов, в частности, хлорофильного индекса МСІ.

Хлорофильный индекс МСІ был введён для обработки изображений видеоспектрометра среднего пространственного разрешения MERIS KA Envisat, производящего съёмку в 15 узких спектральных каналах (табл. 4). Схожие каналы имеются и у ГСА-РП.

Табл. 4. Характеристики аппаратуры MERIS [21]

Номер канала	Центральная длина волны, нм	Ширина канала, нм
1	412,5	10
2	442,5	10
3	490	10
4	510	10
5	560	10
6	620	10
7	665	10
8	681,25	7,5
9	708,75	10
10	753,75	7,5
11	760,625	3,75
12	778,75	15
13	865	20
14	885	10
15	900	10

МСІ характеризует высоту пика в отражённом от воды излучении в ближнем ИК-диапазоне, в окрестности длины волны 709 нм:

$$MCI = L_{709} - L_{681} - \left[ \frac{709 - 681}{753 - 681} (L_{753} - L_{681}) \right]. \quad (5)$$

Этот параметр напрямую связан с интенсивностью развития поверхностного фитопланктона и цветением водорослей. Фитопланктон (растительный планктон) представляет собой совокупность свободноплавающих в толще воды мелких, преимущественно микроскопических растений. Основную их массу составляют водоросли. В каждый сезон в водоёме преобладает одна или несколько групп водорослей, а в периоды интенсивного развития нередко господствует всего один вид. Так, в зимний период в замерзающих водоёмах, особенно когда лёд покрыт снегом, фитопланктон практически отсутствует из-за недостатка света. Vegetационное развитие водорослей планктона как сообщества начинается в марте–апреле, когда уровень солнечного света становится достаточным для фотосинтеза водорослей даже подо льдом. С момента вскрытия льда до прогрева верхнего слоя воды до 10–12 °С начинается бурное развитие холодолюбивого комплекса диатомовых водорослей. В частности, широко распространённая в озёрной среде умеренной зоны и субарктики диатомея мелозира исландская обычно присутствует в планктоне (например, в Онежском и Ладожском озерах, в Неве) при температуре от +1 до +13 °С, максимальное же размножение её наблюдается при температуре от +6 до +8 °С. Летом, при температуре воды выше 15 °С, наблюдается максимум продуктивности сине-зелёных и зелёных водорослей, вызывающих «цветение» воды [22].

Мониторинг экологического состояния внутрен-

них водоёмов проводится во многих странах, но, исходя из сходства климатических условий, в данной работе интерес представляют исследования, проводимые на озере Эри (рис. 16).



Рис. 16. Отображение цветения водоёмов на космических снимках: озеро Эри, 03.08.2014 [23] (а), озёра в районе села Рождество, 20.09.2014 [24] (б)

Озеро Эри – самое мелкое в системе Великих озёр (Северная Америка), поэтому при высоких летних температурах быстро подвергается цветению. Аналогичная ситуация наблюдается на озёрах, расположенных в районе села Рождество, в частности, на Большом Островном (размеры  $2,5 \times 1$  км) и Круглом (размеры  $1 \times 0,5$  км). Их берега сильно заболочены, мелководье на десятке метров покрыто зарослями камыша. Дно илистое, пологое, с середины лета почти полностью зарастает кувшинкой и водорослями, покрывается ряской.

В тёплое время года водоросли образуют на поверхности толстый, непроницаемый для кислорода слой. В зимний период водоросли присутствуют в водоёме фрагментарно, в так называемых «кэшах», где концентрация  $\alpha$ -хлорофилла может достигать уровня  $30 \text{ мг/м}^3$ . Из-за ограниченных возможностей зимних наблюдений озёр, покрытых льдом, информации о состоянии водорослей недостаточно, но её можно получить с помощью данных ДЗЗ, полученных в узких спектральных каналах [25].

Результаты исследований состояния озера Эри канадскими специалистами представлены на рис. 17. Результаты вычисления индекса МСИ по данным ГСА-РП представлены на рис. 18.

При расчёте индекса МСИ по данным двух видов аппаратуры получены схожие результаты. Высокие значения индекса МСИ (более 1,0) свидетельствуют о наличии под поверхностью льда водорослей, которые

не обнаруживаются при обычном визуальном дешифрировании.

Провести сравнение результатов расчётов по одним и тем же объектам наблюдения не удалось из-за отсутствия необходимых данных космической съёмки.

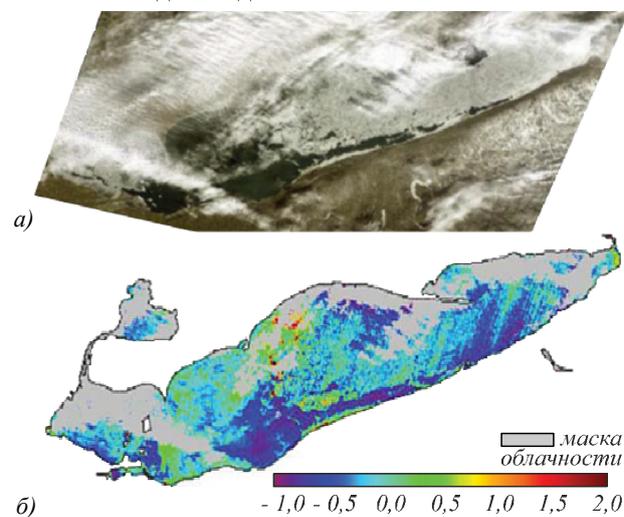


Рис. 17. Изучение экологического состояния озера Эри [25]: цветной композит уровня L1, аппаратура MERIS, февраль 2001 года (а), индекс МСИ в псевдоцветах (б)

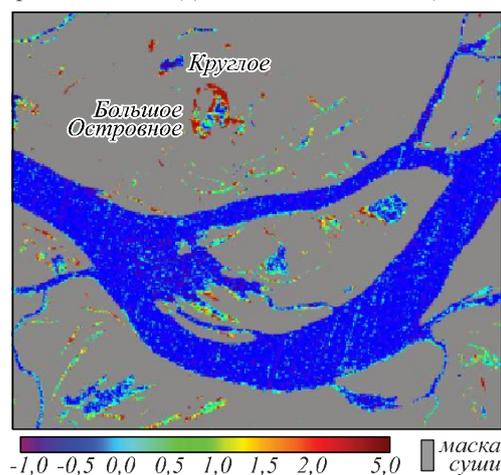


Рис. 18. Индекс МСИ на озёрах в районе села Рождество по данным ГСА-РП за 27 марта 2014 года

### Выводы

Обработка гиперспектральных снимков КА «Ресурс-П» по используемым в мировой практике ДЗЗ-технологиям позволяет решать задачи автоматизированного мониторинга рек и водоёмов Самарской области в весенний период. Наличие корректной радиометрической и спектральной калибровки ГСА-РП даёт возможность анализировать гиперкубы совместно с мультиспектральными данными других космических аппаратов, в частности, Landsat-8. Полученный опыт обработки данных ДЗЗ может быть использован в других регионах России.

### Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ «ОФИ\_М» № 13-01-12014.

**Литература**

1. **Wynne, R.H.** Satellite Monitoring of Lake Ice Breakup on the Laurentian Shield (1980-1994) / R.H. Wynne, Th.M. Lillesand, M.K. Clayton, J. Magnuson // *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. – 1998. – Vol. 64, Issue 6. – P. 607-617.
2. Архив стандартных и тематических продуктов Геологической службы США [Электронный ресурс]. – URL: <https://lpdaac.usgs.gov/products/> (дата обращения 04.12.2014).
3. Проекты института океанологии Российской академии наук [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.ocean.ru/content/view/1745/41/> (дата обращения 04.12.2014).
4. **Зимичев, Е.А.** Пространственная классификация гиперспектральных изображений с использованием метода кластеризации k-means++ / Е.А. Зимичев, Н.Л. Казанский, П.Г. Серафимович // *Компьютерная оптика*. – 2014. – Т. 38, № 2. – С. 281-286.
5. **Денисова, А.Ю.** Обнаружение аномалий на гиперспектральных изображениях / А.Ю. Денисова, В.В. Мясников // *Компьютерная оптика*. – 2014. – Т. 38, № 2. – С. 287-296.
6. **Кузнецов, А.В.** Сравнение алгоритмов управляемой поэлементной классификации гиперспектральных изображений / А.В. Кузнецов, В.В. Мясников // *Компьютерная оптика*. – 2014. – Т. 38, № 3. – С. 494-502.
7. **Фурсов, В.А.** Тематическая классификация гиперспектральных изображений по показателю сопряженности / В.А. Фурсов, С.А. Бибииков, О.А. Байда // *Компьютерная оптика*. – 2014. – Т. 38, № 1. – С. 154-158.
8. **Журавель, Ю.Н.** Особенности обработки гиперспектральных данных дистанционного зондирования при решении задач мониторинга окружающей среды / Ю.Н. Журавель, А.А. Федосеев // *Компьютерная оптика*. – 2013. – Т. 37, № 4. – С. 471-476.
9. **Wiscombe, W.J.** A model for the spectral albedo of snow. I: Pure snow / W.J. Wiscombe, S.G. Warren // *Journal of Atmospheric Science*. – 1980. – Vol. 37. – P. 2712-2733.
10. **Dozier, J.** Multispectral and hyperspectral remote sensing of alpine snow properties / J. Dozier, Th.H. Painter // *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*. – 2004. – Vol. 32. – P. 465-494.
11. Optical Properties of Snow [Электронный ресурс]. – URL: [www.civil.utah.edu/~cv5450/Remote/AVIRIS/optics.html](http://www.civil.utah.edu/~cv5450/Remote/AVIRIS/optics.html) (дата обращения 04.12.2014).
12. **Лебедев, Г.А.** Распространение электромагнитных и акустических волн в морском льду / Г.А. Лебедев, К.К. Сухоруков. – СПб: Гидрометиздат, 2001. – 82 с.
13. Оперативная информация о водохозяйственной обстановке на территории Российской Федерации [Электронный ресурс]. – URL: <http://voda.mnr.gov.ru/activities/> (дата обращения 04.12.2014).
14. Информация поисково-спасательной службы Самарской области [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.pssso.ru> (дата обращения 04.12.2014).
15. **Chaouch, N.** An automated algorithm for river ice monitoring over the Susquehanna River using the MODIS data / N. Chaouch, M. Temimi, P. Romanov, R. Cabrera, G. McKillop, R. Khanbilvardi // *Hydrological Processes*. – 2014. – Vol. 28. – P. 62-73.
16. **Kugler, Zs.** Remote sensing for natural hazard mitigation and climate change impact assessment / Zs. Kugler // *Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service*. – 2012. – Vol. 116, N 1. – P. 21-38.
17. **Pavelsky, T.M.** Spatial and temporal patterns in Arctic river ice breakup observed with MODIS and AVHRR time series / T.M. Pavelsky, L.C. Smith. // *Remote Sensing of Environment*. – 2004. – Vol. 93. – P. 328-338.
18. **Hall, D.K.** Encyclopedia of Snow, Ice and Glaciers / D.K. Hall, G.A. Riggs. – Springer, 2014. – P. 779-780.
19. **Hall, D.K.** Normalized-Difference Snow Index (NDSI) / D.K. Hall, G.A. Riggs [Электронный ресурс]. – URL: <http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20100031195.pdf> (дата обращения 04.12.2014).
20. **Latifovic, R.** Analysis of climate change impacts on lake ice phenology in Canada using the historical satellite data record / R. Latifovic, D. Pouliot // *Remote Sensing of Environment*. – 2007. – Vol. 106. – P. 492-507.
21. EnviSat (Environmental Satellite) [Электронный ресурс]. – URL: <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/e/envisat> (дата обращения 04.12.2014).
22. **Арбузова, Л.Л.** Водоросли: учеб. пособие / Л.Л. Арбузова, И.П. Левенец. – Владивосток: Дальрыбвтуз, ИБМ ДВО РАН, 2010. – 177 с.
23. **Broadley, L.** It came from Lake Erie: Why toxic algae's a nightmare for Canada, too [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.globalnews.ca/news/1492850/> (дата обращения 04.12.2014).
24. Google Планета Земля [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.google.com/intl/ru/earth/> (дата обращения 04.12.2014).
25. **Binding, G.E.** The MERIS MCI and its potential for satellite detection of winter diatom blooms on partially ice-covered Lake Erie / C.E. Binding, T.A. Greenberg, R.P. Bukata, D.E. Smith, M.R. Twiss // *Journal of Plankton Research*. – 2012. – Vol. 34, Issue 6. – P. 569-573.

**References**

1. **Wynne, R.H.** Satellite Monitoring of Lake Ice Breakup on the Laurentian Shield (1980-1994) / R.H. Wynne, Th.M. Lillesand, M.K. Clayton, J. Magnuson. // *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. – 1998. – Vol. 64, Issue 6. – P. 607-617.
2. Land Processes Distributed Active Archive Center [Electronic resource]. – URL: <https://lpdaac.usgs.gov/products/> (request date 04.12.2014).
3. Projects of Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences [Electronic resource]. – URL: <http://www.ocean.ru/content/view/1745/41/> (request date 04.12.2014). – (In Russian).
4. **Zimichev, E.A.** Spectral-spatial classification with K-Means++ partitional clustering / E.A. Zimichev, N.L. Kazanskiy, P.G. Serafimovich // *Computer Optics*. – 2014. – Vol. 38(2). – P. 281-286.
5. **Denisova, A.Yu.** Anomaly detection for hyperspectral imagery / A.Yu. Denisova, V.V. Myasnikov // *Computer Optics*. – 2014. – Vol. 38(2). – P. 287-296.
6. **Kuznetsov, A.V.** A Comparison of algorithms for supervised classification using hyperspectral data / A.V. Kuznetsov, V.V. Myasnikov // *Computer Optics*. – 2014. – Vol. 38(3). – P. 494-502.
7. **Fursov, V.A.** Thematic classification of hyperspectral images by conjugacy indicator / V.A. Fursov, S.A. Bibikov, O.A. Bajda // *Computer Optics*. – 2014. – Vol. 38(1). – P. 154-158.
8. **Zhuravel, Yu.N.** The features of hyperspectral remote sensing data processing under environment monitoring task solution / Yu.N. Zhuravel, A.A. Fedoseev // *Computer Optics*. – 2013. – Vol. 37(4). – P. 471-476.
9. **Wiscombe, W.J.** A model for the spectral albedo of snow. I: Pure snow / W.J. Wiscombe, S.G. Warren // *Journal of Atmospheric Science*. – 1980. – Vol. 37. – P. 2712-2733.

10. **Dozier, J.** Multispectral and hyperspectral remote sensing of alpine snow properties / J. Dozier, Th.H. Painter // Annual Review of Earth and Planetary Sciences. – 2004. – Vol. 32. – P. 465-494.
11. Optical Properties of Snow [Electronic resource]. – URL: [www.civil.utah.edu/~cv5450/Remote/AVIRIS/optics.html](http://www.civil.utah.edu/~cv5450/Remote/AVIRIS/optics.html) (request date 04.12.2014).
12. **Lebedev, G.A.** Propagation of electromagnetic and acoustic waves in sea ice / G.A. Lebedev, K.K. Sukhorukov. – St.-Petersbur: "Gidrometeoizdat" Publisher, 2001. – 82 p. – (In Russian).
13. Up-to-date information on water environment situation on the Russian Federation territory [Electronic resource]. – URL: <http://voda.mnr.gov.ru/activities/> (request date 04.12.2014).
14. Up-to-date information of search-and-rescue service in the Samara region [Electronic resource]. – URL: <http://www.pssso.ru> (request date 04.12.2014).
15. **Chaouch, N.** An automated algorithm for river ice monitoring over the Susquehanna River using the MODIS data / N. Chaouch, M. Temimi, P. Romanov, R. Cabrera, G. McKillop, R. Khanbilvardi // Hydrological Processes. – 2014. – Vol. 28. – P. 62-73.
16. **Kugler, Zs.** Remote sensing for natural hazard mitigation and climate change impact assessment / Zs. Kugler // Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service. – 2012. – Vol. 116, N 1. – P. 21-38.
17. **Pavelsky, T.M.** Spatial and temporal patterns in Arctic river ice breakup observed with MODIS and AVHRR time series / T.M. Pavelsky, L.C. Smith. // Remote Sensing of Environment. – 2004. – Vol. 93. – P. 328-338.
18. **Hall, D.K.** Encyclopedia of Snow, Ice and Glaciers / D.K. Hall, G.A. Riggs. – Springer, 2014. – P. 779-780.
19. **Hall, D.K.** Normalized-Difference Snow Index (NDSI) / D.K. Hall, G.A. Riggs [Electronic resource]. – URL: <http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20100031195.pdf> (request date 04.12.2014).
20. **Latifovic, R.** Analysis of climate change impacts on lake ice phenology in Canada using the historical satellite data record / R. Latifovic, D. Pouliot // Remote Sensing of Environment. – 2007. – Vol. 106. – P. 492-507.
21. EnviSat (Environmental Satellite) [Electronic resource]. – URL: <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/e/envisat> (request date 04.12.2014).
22. **Arbuzova, L.L.** Algae: Tutorial / L.L. Arbuzova, I.R. Levenets. – Vladivostok: "Dalrybvtuz", Institute of Marine Biology of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences Publisher, 2010. – 177 p. – (In Russian).
23. **Broadley, L.** It came from Lake Erie: Why toxic algae's a nightmare for Canada, too [Electronic resource]. – URL: <http://www.globalnews.ca/news/1492850/> (request date 04.12.2014).
24. Google Earth [Electronic resource]. – URL: <http://www.google.com/intl/ru/earth/> (request date 04.12.2014).
25. **Binding, G.E.** The MERIS MCI and its potential for satellite detection of winter diatom blooms on partially ice-covered Lake Erie / C.E. Binding, T.A. Greenberg, R.P. Bukata, D.E. Smith, M.R. Twiss // Journal of Plankton Research. – 2012. – Vol. 34, Issue 6. – P. 569-573.

## USING MULTI- AND HYPERSPECTRAL REMOTE SENSING DATA FOR AUTOMATED RIVER AND RESERVOIR MONITORING DURING SPRING

*G.P. Anshakov, Y.N. Zhuravel, A.V. Raschupkin  
Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences,  
JSC «RSC Progress», Samara*

### *Abstract*

Remote sensing data is a modern tool for efficient reception of data relating to potential natural disasters. This article looks into the feasibility of using the *Resurs-P-1* satellite hyperspectral images to evaluate the ice conditions on the Volga river and lakes of the Samara region, as well as monitoring river and reservoir ecological conditions during spring.

*Keywords:* remote sensing data, hyperspectral data, multispectral data, ice optical properties, index image.

### *Сведения об авторах*

**Аншаков Геннадий Петрович**, в 1961 году окончил Куйбышевский авиационный институт (ныне – Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва – СГАУ) по специальности «Производство летательных аппаратов». Доктор технических наук, член-корреспондент РАН, профессор, заместитель генерального конструктора. Область научных интересов: дистанционное зондирование Земли, методы обработки информации дистанционного зондирования Земли.

E-mail: [csdb@samspace.ru](mailto:csdb@samspace.ru).

**Gennady Petrovich Anshakov**, graduated from Kuibyshev Aviation Institute (presently, S. P. Korolyov Samara State Aerospace University (National Research University) (SSAU)) in 1961, majoring in Manufacture of Aircraft. Doctor of Engineering, Corresponding Member of Russian Academy of Sciences, professor, Deputy General Designer. Research interests are in the field remote sensing, methods of processing remote sensing information.

**Журавель Юлия Николаевна**, в 1990 году окончила Куйбышевский авиационный институт (ныне – Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва – СГАУ) по специальности «Прикладная математика», работает начальником сектора в научно-производственном отделе

тематической обработки и распространения информации ДЗЗ. С 2013 года обучается в аспирантуре СГАУ. Область научных интересов: дистанционное зондирование Земли, методы обработки изображений.

E-mail: [csdb@samspace.ru](mailto:csdb@samspace.ru).

**Yuliya Nikolaevna Zhuravel** graduated from Kuibyshev Aviation Institute (presently, S. P. Korolyov Samara State Aerospace University (National Research University) (SSAU)) in 1990, majoring in Applied Mathematics. Currently works as the head of sector in Scientific Production department of remote sensing data thematic processing and distribution. Since 2013 she is a postgraduate student of SSAU. Sphere of scientific interests: remote sensing, digital image processing.

**Ращупкин Анатолий Владимирович**, в 1986 году окончил Куйбышевский авиационный институт (ныне – Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва – СГАУ) по специальности «Прикладная математика», работает начальником отдела тематической обработки и распространения информации ДЗЗ. Область научных интересов: дистанционное зондирование Земли, методы обработки изображений.

E-mail: [csdb@samspace.ru](mailto:csdb@samspace.ru).

**Anatolii Vladimirovich Rashchupkin** graduated from Kuibyshev Aviation Institute (presently, S. P. Korolyov Samara State Aerospace University (National Research University) (SSAU)) in 1986, majoring in Applied Mathematics. Currently works as the head of department of remote sensing data thematic processing and distribution. Sphere of scientific interests: remote sensing, digital image processing.

---

*Поступила в редакцию 27 января 2015 г.  
Окончательный вариант – 3 апреля 2015 г.*