

S. A. Kudryakov, E. A. Rubtsov
Saint Petersburg state University of civil aviation

S. A. Belyaev, A. V. Ekalo
Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»

Yu. B. Ostapchenko
REC ETU SEC JSC

ANALYSIS OF DIFFERENT RANGE DATA LINKS FOR COMMAND, CONTROL AND COMMUNICATIONS WITH UNMANNED AIRCRAFT

The article analyzes data links providing command, control and communication with unmanned aircraft. Three types of links are considered: long, medium and short range. For the provision of long-range radio communication with the unmanned aircraft only satellite links are currently available. To provide medium-range links (for the range of direct radio visibility), it is recommended to use UHF and VHF bands that allow data transmitting at a high speed and exchange information with fast moving unmanned aircraft. At present, a large number of means of these ranges have been developed, both for military and civilian objectives. Short-range links are used to exchange information between the unmanned aircraft and the remote pilot station, as well as to exchange information between unmanned aircrafts. This type of links assumes high transmission speed: from tens of megabits to gigabits per second and allows to exchange photos and video information in real time. In addition to radio links, for short-range communications it is advisable to use infrared systems which do not interfere with radio.

Flight safety, unmanned aircraft, command, control, communication, data link

УДК 004.042

Н. Н. Попов, В. М. Абрамов, Л. В. Александрова, В. Г. Бурлов
Российский государственный гидрометеорологический университет

В. В. Романцев
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Г. Н. Ткаченко
АО «НИЦ СПб ЭТУ»

А. Н. Попова
ФГБОУ ВО «ГУМРФ им. адмирала С. О. Макарова

Инновационные технологии геоинформационного обеспечения картирования площадных объектов в Арктике с использованием неконтактных методов

В труднодоступных районах Арктики важной задачей является картирование различных площадных объектов с их последующей классификацией. Примером является задача картографического отображения полей морского льда различного возраста в интересах оперативного геоинформационного обеспечения навигации по Северному морскому пути. Описываемое картирование в Арктике целесообразно осуществлять с помощью неконтактных методов, включая дистанционное зондирование Земли. Рассматриваются основные источники неконтактных данных – спутниковые системы Sentinel-1, Landsat7, Landsat8 и Modis. Описываются особенности их применения и накладываемые ограничения. В качестве основного источника данных была выбрана спутниковая система Sentinel-1, способная проводить зондирование подстилающей поверхности при любом освещении и погоде, что особенно актуально при наблюдении в течение полярной ночи или в условиях облачности. В качестве дополнения рассматривались системы Landsat7, Landsat8 и Modis, данные которых способны заполнить недостающие временные участки единой цепи, обеспечив непрерывность наблюдения за акваторией. Приводится анализ баз данных указанных систем.

Геоинформационное обеспечение, дистанционное зондирование Земли, Landsat, Sentinel

В составе функционала геоинформационного менеджмента сложных, пространственно-распре-

деленных территориальных систем [1] в трудно-доступных районах Арктической зоны Россий-

ской Федерации (АЗРФ) важной задачей является картирование различных площадных объектов с их последующей классификацией, в том числе методами распознавания образов. Ярким примером является задача картографического отображения полей морского льда различного возраста в интересах оперативного геоинформационного обеспечения навигации по Северному морскому пути (СМП). В пределах АЗРФ задачи описываемого картирования целесообразно решать с помощью неконтактных методов, включая дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ). Именно эта задача рассмотрена в данной статье. Отметим, что аналогичная ситуация существует в рамках интегрального управления водными ресурсами (ИУВР) в Арктике [2] и управления качеством воздуха в Арктике [3]. Наличие архива космических снимков и своевременное поступление актуальной информации, получаемой с помощью ДЗЗ, позволяет эффективно реализовывать рассматриваемое направление геоинформационного обеспечения при значительном сокращении времени полевых работ и их стоимости [4]. В статье рассмотрены неконтактные методы, реализованные на базе различных платформ:

- **Радиолокационные методы**, основанные на применении высокочастотных радаров, размещенных вдоль береговой линии. Данные решения широко представлены вдоль побережья Соединенных Штатов Америки (hfradar.ndbc.noaa.gov). В Европе функционирует радар WERA, расположенный на берегу Северного моря в заливе Дитмаршен. Применение высокочастотных радаров позволяет получить информацию о поверхностных течениях, состоянии ледового покрова, волнах и направлении ветра у поверхности на расстоянии до 200 км [5]. Данный метод отличается надежностью, но требует развернутой сети радарных станций для покрытия значительных прибрежных территорий, что затруднительно в связи со сложными логистическими и климатическими условиями полярной зоны.

- **Воздушные суда**. Наиболее ярким примером агрегатора аэрофотоснимков может служить проект *Aviris* (aviris.jpl.nasa.gov), реализуемый NASA. Он направлен на исследование окружающей среды и мониторинга загрязнений. Основным измерительным средством проекта является бортовой спектрометр визуального и инфракрасного наблюдения, функционирующий в 224 каналах на длинах волн от 400 до 2500 нм [6]. Основным преимуществом данного метода измерений является высокое разрешение и детализация объ-

ектов. Однако объем поступающей информации зависит от количества полетов над исследуемой территорией.

- **Космические носители аппаратуры дистанционного изучения земной поверхности** – наиболее доступный и постоянно обновляемый источник данных, характеризующийся достаточным пространственным разрешением и обширностью покрываемых территорий. В статье будут рассмотрены космические системы, предоставляющие данные в открытый доступ всем желающим. Благодаря своим свойствам эти системы удобны для изучения процессов в области наук о Земле. Наличие нескольких спутниковых систем ДЗЗ позволяет организовать оперативный контроль за состоянием ледового покрова Северного морского пути, а наличие архива наблюдений за предыдущие периоды – оценивать изменения окружающей среды. Большая обзорность совместно с одновременной работой нескольких схожих по техническим параметрам систем, позволяющих повторно получать данные о месте через короткие промежутки времени, дает возможность оценивать явления в динамике и проводить комплексный анализ развития изучаемых объектов.

При оперативном планировании морской деятельности важным фактором является скорость поступления данных ДЗЗ. На момент написания статьи наиболее доступными являются спутники Sentinel-1 и Sentinel-2 европейского космического агентства, а также Modis, Landsat-7 и Landsat-8, управляемые NASA. При пассивном зондировании Земли в оптико-электрических и оптико-механических системах используются ультрафиолетовый, видимый, ближний, средний и дальний инфракрасный (ИК) диапазоны, а в пассивных сверхвысокочастотных – миллиметровый и микроволновый. Эмпирическим путем было установлено, что более 85 % излучения Земли в ИК-диапазоне поглощается молекулами озона, кислорода, углекислого газа и водяного пара и не достигает верхней границы атмосферы. Кислород и озон поглощают коротковолновую и среднюю часть ультрафиолетового излучения соответственно в верхних слоях атмосферы. Углекислый газ и водяной пар поглощают излучение в инфракрасном диапазоне. Описанные особенности поглощения атмосферой учитывались при разработке систем дистанционного зондирования таким образом, чтобы производить съемку земной поверхности в тех участках спектра, где поглощение атмосферой не столь существенно.

Канал	Длина волны (нм) и разрешение (м)							
	Landsat-7		Landsat-8		Sentinel-2		Modis	
Синий	450...520	30	452...512	30	458...523	10	459...479	500
Зеленый	520...600	30	533...590	30	543...578	10	545...565	500
Красный	630...690	30	636...673	30	650...680	10	620...670	250
Ближний ИК	770...900	30	851...879	30	785...900	10	841...876	250
Средний ИК 1	1550...1750	30	1566...1651	30	1565...1655	20	1628...1652	500
Средний ИК 2	2080...2350	30	2107...2294	30	2100...2280	20	2105...2155	500

В таблице приведены технические характеристики (длины волн и разрешения каналов) спутников Landsat-7, Landsat-8, Sentinel-2 и Modis. Sentinel-1 функционирует в С-диапазоне.

Система Sentinel-1 оснащена радаром с синтезированной апертурой (SAR), функционирующим в С-диапазоне, что позволяет проводить мониторинг при любой погоде, облачности и освещении подстилающей поверхности. Эта особенность качественно выделяет данную систему как наиболее подходящую для решения поставленной задачи в Арктическом регионе. На данный момент миссия состоит из двух спутников Sentinel-1A и Sentinel-1B, имеющих одну орбитальную плоскость. Спутники функционируют в четырех режимах зондирования с пространственным разрешением до 5 м и охватом до 400 км и находятся на полярной солнечно-синхронной орбите с 12-часовым циклом повторения. Оба носителя имеют одну орбитальную плоскость с разностью фаз в 180°, что позволяет покрывать всю поверхность Земли за 6 дней. Отдельно следует отметить высокую скорость поступления данных от измерителя в базу данных. Система может различать многолетние и однолетние льды, что позволяет обеспечивать безопасность навигации в арктических и субарктических зонах. Радиолокационные изображения, получаемые со спутников, пригодны для создания ледовых карт высокого разрешения, контроля айсбергов и прогнозирования ледовой обстановки.

При анализе снимков системы Sentinel-1 могут наблюдаться искажения изображения и наличие шума, для исправления которых необходима калибровка. Это связано с тем, что для получения продукта с условным размером пикселей изображения используется некогерентное накопление, которое формируется усреднением разрешения пикселей.

Для анализа качества снимков системы Sentinel-1 и их временного распределения был выбран район пролива Карские Ворота как одной из важнейших частей Северного морского пути. Из базы

данных европейского космического агентства были выбраны снимки, сделанные в феврале 2018 г. и покрывающие акваторию пролива. Было установлено (рис. 1), что для данного района новые снимки доступны каждые 5–7 дней (А – 4 февраля 2018, Б – 11 февраля 2018, В – 16 февраля 2018, Г – 23 февраля 2018). Этого вполне достаточно для оценки состояния ледового покрова, а пространственное разрешение спутников позволяет фиксировать отдельные льдины размером более 500 м².

Как видно из рис. 1, ледовая обстановка может существенно изменяться в течение одной недели, что значительно усложняет планирование морской деятельности в регионе. Однако промежутки могут быть заполнены снимками, получаемыми из других систем. Landsat-7, Landsat-8, Sentinel-2 и Modis также применимы для оценки ледовой обстановки, однако на них накладываются ограничения, связанные с освещенностью территории и погодными явлениями.

Как следует из таблицы, спутники Landsat-7 и Landsat-8, а также Sentinel-2 и Modis работают в видимом, ближнем и дальнем ИК-диапазонах волн с разрешением снимков от 10 до 500 м на пиксель. Они находятся на полярной орбите, что позволяет им так же, как и системе Sentinel-1, производить съемку полярных регионов.

В системе Sentinel-2 функционируют 2 спутника – Sentinel-2A (запущен в 2015 г.) и Sentinel-2B (запущен в 2017 г.). В отличие от системы Sentinel-1, направленной на мониторинг морской ледовой обстановки в Арктике, система Sentinel-2 проектировалась для наблюдения за лесными и водными ресурсами. Sentinel-2 функционирует в видимом и ИК-диапазонах, на наблюдения в которых влияют погодные условия и освещенность.

Спутник Landsat-8 за сутки снимает порядка 400 сцен, что почти в 2 раза больше, чем у предыдущего Landsat-7, а установленные приборы OLI и TIRS имеют более высокое отношение сигнал-шум по сравнению с ETM+, которым оборудован Landsat-7. Основным измерительным прибором в Landsat-8 является OLI, который ра-

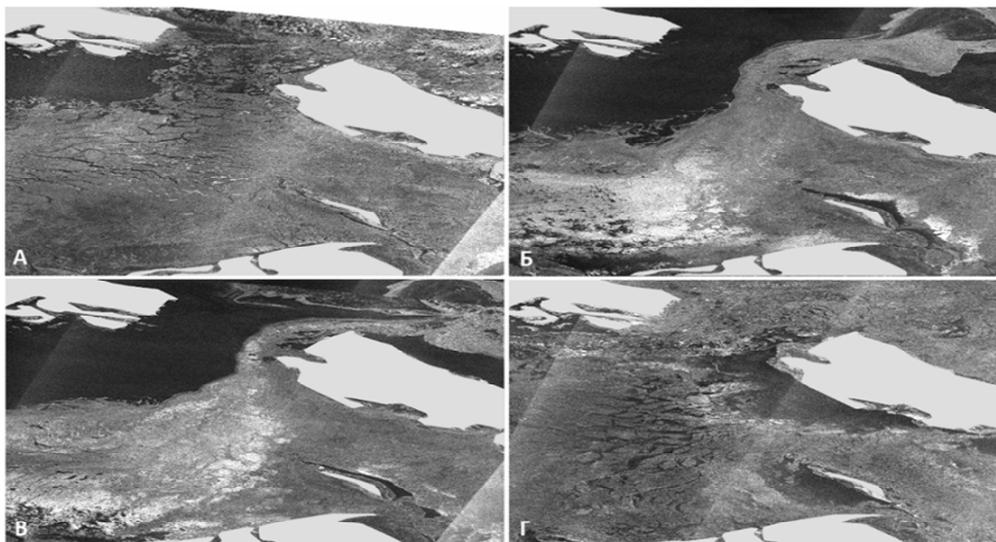


Рис. 1

ботаает в девяти диапазонах длин волн. Системы имеют пространственное разрешение 30 м на пиксель для каналов видимого и ИК-диапазонов и 15 м на пиксель для панхроматического канала. Каждый из спутников Landsat-8 и Landsat-7 покрывает всю поверхность Земли за 16 дней, а задержка в покрытии одной территории позволяет данной системе собирать сведения о тех местах, где в момент съемки первым спутником мешала облачность. Согласно данным наблюдений [7] обычно облачность сохраняется над любым районом Земли на протяжении 3–5 дней, что позволяет оценивать ледовую обстановку с помощью данных, полученных с разных спутников одной или нескольких систем. Приблизительный размер одного снимка составляет порядка 200 км².

Проект Global Land Ice Velocity Extraction (GoLIVE) дает возможность ученым проводить регулярные полуавтоматические измерения движения льда по всему миру. Landsat покрывает планету каждые 16 дней, и, сравнивая ориентиры и тонкие свойства льда от одного изображения к другому, исследователи могут отслеживать движение льда в течение недель, сезонов и лет.

Ученые использовали спутниковые снимки и радар для отслеживания движения и эволюции ледников из космоса на протяжении десятилетий, но до сих пор это требовало кропотливого анализа. Новейшие достижения в области спутниковой технологии, компьютерных алгоритмов и вычислительной мощности позволили расширить область охвата.

Цель состоит в том, чтобы понять, как быстро тают ледники и ледяные щиты и, следовательно, как быстро будут расти океаны по мере роста температуры. Аналогичные усилия по созданию

отчета о ледовом потоке ведутся в Гренландии и Антарктике; они используют данные с нескольких спутников, включая визуальные изображения от Landsat 8 и спутников European Sentinel 1.

GoLIVE – это первый глобальный проект по предоставлению ученым регулярного потока обработанных данных, которые могут быть быстро включены в существующие исследовательские проекты.

Modis – самый ранний из представленных в данной статье измерительных приборов, установленный на спутниках Terra (запущен в 1999 г.) и Aqua (запущен в 2002 г.). Modis имеет 36 каналов с пространственным разрешением от 250 до 1000 м на пиксель, что позволяет оценивать крупномасштабные явления. Однако при невысоком разрешении данная система имеет значительное преимущество – она покрывает поверхность Земли двумя спутниками за 1–2 дня.

За счет того, что все системы имеют схожие спектральные диапазоны измерений, обеспечивается преемственность и совместимость всех полученных данных. Однако, как уже отмечалось, на работу Sentinel-2, Landsat-7, Landsat-8 и Modis влияют погодные условия (облачность). Для определения количественных и качественных характеристик предоставляемой информации были проанализированы базы данных ранее указанных систем ДЗЗ. Было подсчитано общее количество снимков, покрывающих исследуемый район (Новая Земля и Карское море до острова Сибирикова на Востоке), и количество снимков, покрытых облачностью не более чем на 30 % (рис. 2, а –

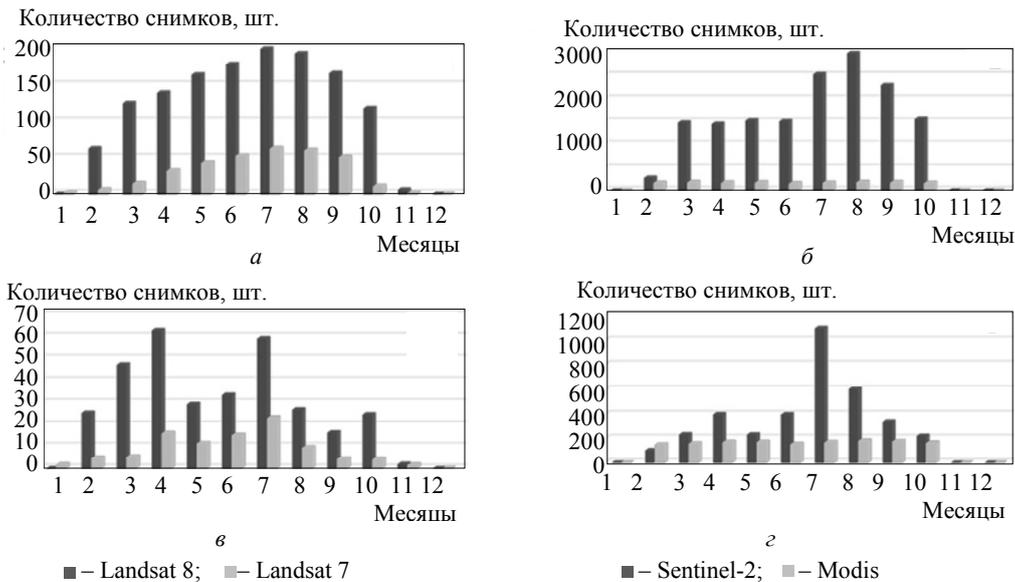


Рис. 2

общее количество снимков систем Landsat 8 и Landsat 7; 2, б – количество снимков систем Landsat 8 и Landsat 7 с покрытием облачностью менее 30 %; 2, в – общее количество снимков систем Sentinel-2 и Modis; 2, г – количество снимков систем Sentinel-2 и Modis с покрытием облачностью менее 30 %). Видно, что наименее обеспеченные месяцы – ноябрь, декабрь и январь. В эти месяцы информативные снимки почти полностью отсутствуют для данного региона. В остальное время системы поставляют достаточное количество спутниковых снимков для обеспечения навигационной деятельности в акватории Карского моря.

Комбинируя каналы спутниковых снимков, полученных с помощью Sentinel-2, Landsat-7, Landsat-8 и Modis, возможно выделение тех объектов, наличие которых менее заметно при рассмотрении снимков в стандартной RGB-схеме. Для наблюдения за льдами и границей вода/суша применялась комбинация ближнего ИК (R), среднего ИК (G) и красного (B). Она позволяет отчетливо различать сушу, воду и лед. В этой комбинации суша представляется в оттенках оранжевого и зеленого цветов, вода в оттенках синего, а лед – выделяется ярким пурпурным цветом. Выбор именно этой комбинации неслучаен (рис. 3). Он сочетает те каналы, где отражение ото льда максимально (ближний ИК-диапазон – 8А, длина волны 0.785...0.9 мкм), минимально (средний ИК-диапазон – 11, длина волны 1.565...1.655 мкм) и практически отсутствует (красный диапазон – 4, длина волны 0.65...0.68 мкм).



Рис. 3

Следует отметить значительный размер снимка, который может достигать 4 Гбайт. При изучении конкретного небольшого района (менее 200 км²) хранение всего снимка нецелесообразно, особенно если требуется иметь локальную копию всех поступающих со спутника и покрывающих заданный район данных. Для автоматизации процесса обработки поступающей информации в данном проекте использовалось приложение Model Builder из пакета ArcGIS. Данное приложение позволяет создавать и осуществлять управление последовательностью процессов, направленных на обработку геоинформации. Отличительной особенностью данного приложения является возможность его вызова из скрипта на языке Python, что позволяет настроить полностью автоматизированную систему подготовки геоданных. На этапе подготовки модели необходимо вручную создать полигон, устанавливающий границы исследуемого региона, и определить для него систему координат. Модель обработки содержит следующие этапы:

1. Вырезание искомой области из спутникового снимка. Используется инструмент Extract by Mask из набора Spatial Analyst Tools. В качестве входных данных задается спутниковый снимок и полигон, определяющий границы района; в качестве выходных – имя и путь создаваемого снимка.

2. Удаление исходных спутниковых снимков для экономии дискового пространства. Для данных системы Sentinel-1 этот пункт является завершающим.

3. Объединение отдельных снимков каналов в один. Данные систем Sentinel-2, Landsat-7, Landsat-8 и Modis представлены набором файлов, каждый из которых хранит изображение, полученное в конкретном спектральном диапазоне. Для удобства хранения и использования целесообразно объединить их, предварительно удалив неиспользуемые файлы (в данном случае все, за исключением 3, 4 и 5 для Landsat-7; 4, 5 и 6 для Landsat-8; 4, 8 и 11 для Sentinel-2 и 1, 2 и 6 для Modis). На данном этапе модель использует инструмент Composite Bands из набора Raster. Входными данными является список исходных файлов, а выходными – имя и путь объединенного файла.

4. Назначение нужных каналов в схеме RGB. Как уже отмечалось, для выделения льда на снимке используется комбинация ближнего ИК для канала красного цвета, среднего ИК для канала зеленого цвета и красного для канала синего цвета.

5. Сохранение полученного снимка для дальнейшего использования.

Проанализировав базы данных систем Sentinel-2, Landsat-7, Landsat-8 и Modis было установлено, что за рассмотренный период (см. рис. 1) в базе Landsat-8 имеются данные за 10 и 12 февраля; в базе Modis – за 14 и 15 февраля; в базе Sentinel-2 – за 20 и 22 февраля. Таким образом, данные, получаемые от специализированной системы наблюдения за ледовой обстановкой, могут быть дополнены из других источников, что позволяет вести оперативное наблюдение за акваторией пролива Карские Ворота.

Изложенные в статье результаты исследований обладают существенной научной новизной. Они вносят значительный вклад в развитие морского потенциала АЗРФ [8], [9] и могут быть использованы при составлении магистерских программ в области наук о Земле с учетом положений Болонского процесса [10], [11].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Methods for external factors assessing within geoinformation management of territories / E. P. Istomin, A. G. Sokolov, V. M. Abramov, G. G. Gogoberidze, A. A. Fokicheva // Intern. Multidisciplinary Scientific GeoConf. Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 15th. Albena, Bulgaria: STEF92 Technology Ltd, 2015. P. 729–736.

2. Concept of environmental monitoring in the Russian Arctic coastal regions / V. M. Abramov, G. G. Gogoberidze., L. N. Karlin, J. A. Lednova, S. V. Berboushi // Intern. Multidisciplinary Scientific GeoConf. Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 14th. Albena, Bulgaria: STEF92 Technology Ltd, 2014. P. 312–326.

3. On route to Integrated Water Resources Management for Russian arctic and subarctic rivers / V. M. Abramov, L. N. Karlin, G. G. Gogoberidze, V. A. Golosovskaya, N. N. Popov // Intern. Multidisciplinary Scientific GeoConf. Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 14th. Albena, Bulgaria: STEF92 Technology Ltd, 2014. P. 495–501.

4. Variability of particulate matter in Saint-petersburg megacity air within climatic time scale / V. M. Abramov, L. N. Karlin, J. A. Lednova, J. A. Malakhova, G. G. Gogoberidze, S. V. Berboushi // Intern. Multidisciplinary Scientific GeoConf. Surveying Geology and Mining Ecology Management // SGEM. 2014. Vol. 2, № 4. P. 599–606.

5. Gurgel et al. Wellen Radar(WERA), a new ground-wave based HF radar for ocean remote sensing // Coastal Engineering. 1999. Vol. P. 219–234.

6. Atmospheric Correction with the Bayesian Empirical Line (2016) / D. R. Thompson, D. A. Roberts, B. C. Gao, R. O. Green, L. Guild, K. Hayashi, R. Kudela, S. Palacios // Optics Express. 2016. № 24. P. 2134–2144.

7. Сутырина Е. Н. Дистанционное зондирование Земли: учеб. пособие. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2013. 165 с.

8. Анализ социально-экономической ситуации в арктических приморских субъектах Российской Федерации на основе индикаторной оценки морского потенциала / Л. Н. Карлин, В. М. Абрамов, Г. Г. Гогоберидзе, Ю. А. Леднова // Ученые записки РГГМУ. 2013. № 30. С. 181–188.

9. Marine economic potential assessment for environmental management in the Russian Arctic and subarctic coastal regions / G. G. Gogoberidze, V. M. Abramov, L. N. Karlin, J. A. Lednova, J. A. Malakhova // Intern. Multidisciplinary Scientific GeoConf. Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 14th. Albena, Bulgaria: STEF92 Technology Ltd, 2014. P. 118–127.

10. Абрамов В. М., Карлин Л. Н., Скобликова А. Л. Гармонизация российских и европейских магистерских программ в области экологического туризма в рамках Болонского процесса // Ученые записки Российского гос. гидрометеорологического ун-та. 2006. № 3. С. 172–183.

11. Geoinformation management as a modern approach to the management of spatially-distributed systems and territories / E. P. Istomin, A. G. Sokolov, V. M. Abramov, G. G. Gogoberidze, N. N. Popov // Intern. Multidisciplinary Scientific GeoConf. Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 15th. Albena, Bulgaria: STEF92 Technology Ltd, 2015. P. 607–614.

N. N. Popov, V. M. Abramov, L. V. Alexandrova, V. G. Burlov
Russian state hydrometeorological university

V. V. Romantsev
Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»

G. N. Tkachenko
REC ETU SEC JSC

A. N. Popova
Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping

INNOVATIVE TECHNOLOGIES OF GEOINFORMATION SUPPORT FOR MAPPING OF AREA OBJECTS IN THE ARCTIC USING NON-CONTACT METHODS

An important task in remote areas of the Arctic is a mapping of various site objects with their subsequent classification. An example is the mapping of sea-ice fields of different ages in the interests of operational geoinformation support of navigation along the Northern Sea Route. The described mapping in the Arctic is expedient to be solved with the help of non-contact methods, including remote sensing of the Earth. The main sources of non-contact data are the satellite systems Sentinel-1, Landsat7, Landsat8 and MODIS. Features of their application and imposed restrictions are described. As the main source of data, the satellite system Sentinel-1 was chosen, capable of probing the underlying surface under any light and weather conditions, which is especially important when observed during the polar night or in cloud conditions. As a supplement, Landsat7, Landsat8 and MODIS systems were considered, the data of which are able to fill the missing time sections of a single circuit, ensuring continuity of observation over the water area. The analysis of the databases of these systems is given.

Geoinformation support, remote sensing of the Earth, Landsat, Sentinel

УДК 004.822

С. В. Власенко
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Формирование модельного базиса интеллектуальных платформ цифровых производств с использованием аппарата концептуальных графов

Рассматривается один из возможных технологических подходов к формированию интеллектуальных платформ цифровых производств на базе использования теории систем, основанных на знаниях. Специфической особенностью подхода является применение моделей знаний предлагаемых видов в качестве структурной основы единого модельного базиса, обрабатываемого в среде цифрового производства. На основании анализа ряда общих особенностей развития современных технологий Industry 4.0 и интернета вещей обосновывается эффективность подобных технологических нововведений, позволяющих на качественном уровне расширить круг функциональных задач, решаемых средствами платформ цифрового производства, а также повысить степень универсальности соответствующего информационно-программного инструментария. Отдельным предметом рассмотрения является выбор наиболее подходящего класса моделей знаний, принимаемого (в качестве базового) в рамках подхода. Основное внимание при этом уделяется одной из разновидностей сетевых моделей знаний – классу концептуальных графов, который обладает рядом преимуществ, имеющих особое значение в выбранной проблемной области.

Цифровое производство, Industry 4.0, интернет вещей, интеллектуальные системы, модели знаний, концептуальные графы

Текущий этап развития отечественных технологий цифрового производства характеризуется, в первую очередь, качественно новым уровнем го-

сударственной поддержки научно-технических исследований и разработок в соответствующих предметных областях, о чем, в частности, непо-