



УДК 528.85; 528.87; 528.88; 528.94
<https://doi.org/10.37661/1816-0301-2021-18-3-106-114>

Оригинальная статья
Original Paper

Совершенствование инструментальных средств обработки и анализа космической информации

С. А. Золотой¹, И. Б. Страшко¹, Д. С. Котов^{1✉}, И. М. Нестерович¹, В. В. Рубо¹, К. И. Костюк²

¹УП «Геоинформационные системы»,
ул. Сурганова, 6, Минск, 220012, Беларусь
✉E-mail: dkotau@gis.by

²Объединенный институт проблем информатики
Национальной академии наук Беларуси,
ул. Сурганова, 6, Минск, 220012, Беларусь

Аннотация. Показывается необходимость создания информационной системы, имеющей специализированные сервисы, которые позволяют ученым и специалистам выполнять тематическую обработку данных дистанционного зондирования Земли, изменяя определенным образом параметры обработки данных, и самостоятельно анализировать полученную информацию.

Рассматривается разработка специализированной информационной системы для оперативного предоставления информации на примере создания программного комплекса распространения оперативной космической информации и работающего во взаимодействии с ним программного комплекса прогноза урожайности зерновых культур.

Представляется структура программного комплекса распространения оперативной космической информации. Приводятся технические и функциональные характеристики его отдельных элементов. Показываются связи подсистем комплекса при приеме, обработке, анализе данных и предоставлении информации заинтересованным специалистам и исследователям. Обращается внимание на возможности широкого применения комплекса для решения научных и прикладных задач в различных областях знаний.

Описывается практическое применение вегетационных индексов при анализе оперативной космической информации. Приводятся данные о практических результатах прогнозирования развития зерновых сельскохозяйственных культур и количественных показателях сеансов с космических аппаратов. Показывается возможность дальнейшего совершенствования и развития созданной информационной системы.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, тематическая обработка данных, космическая информация, спутниковая метеорология, данные о парниковых газах, изучение облачного покрова, содержание углекислого газа, мониторинг чрезвычайных ситуаций, прогнозирование урожайности, вегетационный индекс

Для цитирования. Совершенствование инструментальных средств обработки и анализа космической информации / С. А. Золотой [и др.] // Информатика. – 2021. – Т. 18, № 3. – С. 106–114. <https://doi.org/10.37661/1816-0301-2021-18-3-106-114>

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию | Received 15.05.2021
Подписана в печать | Accepted 18.06.2021
Опубликована | Published 29.09.2021

The improvement of the instrumental means for processing and analyzing of space information

Sergey A. Zolotoy¹, Igor B. Strashko¹, Dzmitry S. Kotau^{1✉}, Iryna M. Nestsiarovich¹, Vitali V. Rouba¹, Karolina I. Kostyuk²

¹UE "Geoinformation Systems",
st. Surganova, 6, Minsk, 220012, Belarus
✉E-mail: dkotau@gis.by

²The United Institute of Informatics Problems
of the National Academy of Sciences of Belarus,
st. Surganova, 6, Minsk, 220012, Belarus

Abstract. The need of the creation of information system with specialized services which allow scientists and specialists to perform thematic processing of Earth remote sensing data, changing the data processing parameters in a certain way, and independently analyze the information received is shown.

To achieve the goal of rapid provision of information, the development of specialized information system is considered on the example of the creation of the software package for the dissemination of operational space information, as well as a software package for predicting the yield of grain crops.

The structure of the software package for the dissemination of operational space information is shown. The technical and functional characteristics of the separate components of the package are given. The relations of the subsystems of the package are shown during data receiving, processing, analyzing and providing information to interested specialists and researchers. Attention is drawn to the possibilities of wide application of the software package for the dissemination of operational space information for solving scientific and applied problems in various fields of knowledge.

The practical application of vegetation indexes in the analysis of operational space information is shown. The data of the practical results of forecasting of the grain crops development, as well as the quantitative indicators of satellites sessions are presented. The possibility of further improvement and development of the created information system is shown.

Keywords: remote sensing of the Earth, thematic data processing, space information, satellite meteorology, greenhouse gas data, cloud cover studying, carbon dioxide content, emergency monitoring, yield forecasting, vegetation index

For citation. Zolotoy S. A., Strashko I. B., Kotau D. S., Nestsiarovich I. M., Rouba V. V., Kostyuk K. I. The improvement of the instrumental means for processing and analyzing of space information. *Informatics*, 2021, vol. 18, no. 3, pp. 106–114 (In Russ.). <https://doi.org/10.37661/1816-0301-2021-18-3-106-114>

Conflict of interest. The authors declare of no conflict of interest.

Введение. Для всех организаций, осуществляющих дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) из космоса, актуальной задачей является предоставление полученных данных ученым и специалистам, ведущим исследования различных явлений и процессов, происходящих в окружающей среде. Данная задача решалась разработчиками УП «Геоинформационные системы» – Национального оператора Белорусской космической системы дистанционного зондирования Земли (БКСДЗ) – в рамках создания специализированной информационной системы, которая не только предоставляет ученым и специалистам данные дистанционного зондирования, но и обеспечивает возможности поиска и выборки необходимых пользователям данных, а также работы с различными инструментами для проведения удаленного анализа полученной информации. При создании подобной информационной системы важными факторами, определяющими ее архитектуру и принципы функционирования, являются разработка соответствующих сервисов и обеспечение их дальнейшего совершенствования. Необходимость в создании такой системы связана с тем, что формирование структуры приема спутниковых данных, систем хранения и тематической обработки больших объемов информации требует достаточно серьезных финансовых вложений.

Для обеспечения специалистов Республики Беларусь, ведущих исследования в спутниковой метеорологии, возможностью доступа к оперативным данным ДЗЗ и с целью формирования инструментов их тематической обработки и анализа в рамках государственной программы «Научно-технологические и технические» на 2016–2020 гг. выполнена опытно-конструкторская работа «Создание распределенной системы приема, обработки и распространения оперативной космической информации с космических аппаратов (КА) (AQUA, SUOMI NPP, NOAA 20, MetOp, Feng-Yun 3D)». Результатом ее выполнения стало создание программного комплекса распространения оперативной космической информации (ПК РОКИ) и программного комплекса обнаружения тепловых аномалий (ПК ОТА).

В настоящей статье представлен опыт создания ПК РОКИ, а также работающего во взаимодействии с ним программного комплекса прогноза урожайности зерновых культур (ПК «Прогноз ЗК»).

Назначение и архитектура ПК РОКИ. Комплекс предоставляет данные о европейской территории, получаемые с КА AQUA, TERRA, SUOMI NPP, NOAA 20, MetOp A/B/C, NOAA 18, NOAA 19 и Feng-Yun 3D, на станцию приема Национального оператора БКСДЗ в режиме времени, близкого к реальному. Распространяемые данные хранятся и доступны в течение не менее шести месяцев с момента приема. Подробная информация о спутниках и датчиках, используемых для получения информации для ПК РОКИ, приведена на сайте Всемирной метеорологической организации¹.

В рамках опытно-конструкторской работы в УП «Геоинформационные системы» вместе с антенной системой создана и установлена новая приемная станция (ПРС) X/L, которая предназначена для приема данных, передаваемых с метеорологических КА ДЗЗ по радиоканалам X/L-диапазонов частот.

Характеристики ПРС X/L:

- расчет расписания пролета КА ДЗЗ по начальным условиям NORAD;
- одновременный прием радиосигналов по двум каналам круговой поляризации правого направления вращения в L-диапазоне частот от 1,69 до 1,71 ГГц и X-диапазоне частот от 7,75 до 8,4 ГГц;
- диаметр параболического зеркала ПРС X/L 3,5 м;
- синхронизация времени по сигналам GPS;
- время подготовки станции к очередному сеансу связи с КА ДЗЗ после завершения предыдущего сеанса связи не более 3 мин;
- масса станции 1200 кг.

Параболическое зеркало диаметром 3,5 м установлено на опорно-поворотном устройстве, которое имеет две оси вращения. Зеркальная система ПРС X/L состоит из рефлектора и подвеса облучателя.

За счет двойного преобразования частот в L-диапазоне обеспечивается гарантированный прием сигналов в диапазоне работы станции на частотах 1,690–1,710 ГГц.

Спутниковые данные, поступающие с приемной антенны, проходят автоматизированную обработку и размещаются на серверах в виде базовых продуктов обработки (в основном с уровнем обработки L1B). ПК РОКИ ведет мониторинг положения метеоспутников на орбите, их полосы обзора и зоны радиовидимости антенны, что дает возможность планирования и предикативного анализа данных. Также комплекс осуществляет настройку уведомлений по электронной почте для зарегистрированных пользователей о поступлении в каталог интересующих их данных ДЗЗ.

ПК РОКИ сокращает время на поиск и получение информации специалистам и исследователям, занимающимся следующими научными и практическими разработками:

- получением данных о температуре и влажности воздуха, парниковых газах в разных слоях атмосферы;
- изучением облачного покрова и интенсивности осадков, в том числе в мощных кучево-дождевых облаках;

¹WMO Oscar | List of all instruments [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.wmo-sat.info/oscar/instruments>. – Date of access: 19.04.2021.

- анализом изменений гидрометеопоказателей для повышения достоверности краткосрочных и долгосрочных прогнозов погоды;
- измерением параметров атмосферных аэрозолей, созданием моделей содержания углекислого газа, оценкой качества воздуха;
- мониторингом отдельных видов чрезвычайных ситуаций, моделированием распространения природных пожаров и зон затопления;
- наблюдениями за движением и температурой льдов, картографированием и прогнозированием их динамики;

– мониторингом состояния сельскохозяйственных культур и прогнозированием урожайности.

Доступ к информации программного комплекса можно получить после прохождения простой процедуры регистрации в клиентском приложении².

Архитектура ПК РОКИ и схема информационного взаимодействия с пользователями и другими компонентами распределенной системы приема, обработки и распространения оперативной космической информации показаны на рис. 1.

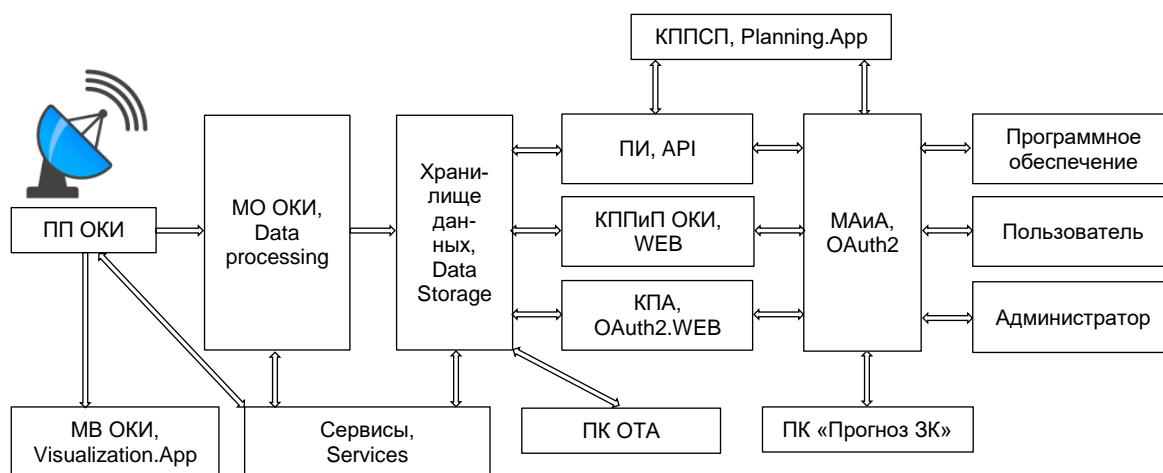


Рис. 1. Архитектура ПК РОКИ

Fig. 1. Architecture of the operational space information dissemination software package

ПК РОКИ состоит из программного интерфейса, модуля обработки оперативной космической информации, сервисов для поддержки работы системы, клиентского приложения администрирования – интерфейса модуля аутентификации и авторизации (МАиА, OAuth2), клиентского приложения просмотра и поиска оперативной космической информации, модуля визуализации оперативной космической информации в процессе приема данных, клиентского приложения планирования сеансов приема.

Подсистема приема оперативной космической информации (ПП ОКИ), ПК «Прогноз ЗК», ПК ОТА и хранилище данных не входят в состав ПК РОКИ, но являются компонентами распределенной системы приема, обработки и распространения оперативной космической информации.

Программный интерфейс (ПИ, API) для обеспечения взаимодействия с внешними программными комплексами реализован на основе технологии Representational State Transfer (REST). Формат структур входных и выходных данных – XML или JSON. Описание используемых методов можно посмотреть на сайте³.

²MeteoEye – сервис доступа к оперативным данным [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://meteoeye.gis.by>. – Дата доступа: 19.04.2021.

³Подсистема обработки и распространения оперативной космической информации – программный интерфейс [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://meteoeye.gis.by/api/index.html>. – Дата доступа: 19.04.2021.

Модуль обработки оперативной космической информации (МО ОКИ, Data processing) предназначен для автоматизации процессов первичной обработки принятой оперативной космической информации с целью формирования информационных ресурсов, соответствующих различным требованиям.

Программные средства модуля обеспечивают:

- контроль поступления данных от ПП ОКИ;
- сбор вспомогательных данных (начальных баллистических условий, калибровочных коэффициентов, прогностической информации и др.) для обработки;
- обработку получаемых данных и формирование базовых информационных ресурсов, реализующих информационную совместимость с составными частями модуля;
- формирование описательных данных, обзорных изображений к базовым информационным ресурсам, доступным пользователю через приложение просмотра и поиска оперативной космической информации;
- формирование информационных ресурсов для работы ПК «Прогноз ЗК» и ПК ОТА.

Информационные ресурсы, получаемые с помощью модуля обработки оперативной космической информации, совместимы с программными пакетами обработки метеорологических данных Direct Readout Laboratory⁴, Community Satellite Processing Package⁵ и AAPP⁶.

Сервисы для поддержки работы системы (Сервисы, Services) обеспечивают движение оперативной космической информации по компонентам системы, управление временем жизни базовых информационных ресурсов, организацию информационных рассылок посредством протокола SMTP и ведение журнала основных операций.

Клиентское приложение администрирования (КПА, OAuth2.WEB) является интерфейсом модуля аутентификации и авторизации. В качестве протокола проверки подлинности пользователей и программных компонентов системы, а также процедуры предоставления прав на выполнение определенных действий и подтверждения данных прав при попытке выполнения этих действий с помощью стороннего программного обеспечения вышеуказанным модулем используется протокол OpenID Connect, в качестве авторизации – протокол OAuth 2.0. Модуль аутентификации и авторизации поддерживает следующие варианты взаимодействия с приложением:

- с участием пользователя (Implicit) на основе логина и сеансового ключа;
- без участия пользователя (Client Credentials) на основе client_id и client_secret.

Клиентское приложение просмотра и поиска оперативной космической информации (КППИ ОКИ, WEB) реализовано как веб-приложение, работает в режиме гостевого доступа для неавторизованного пользователя или авторизованного доступа (рис. 2).

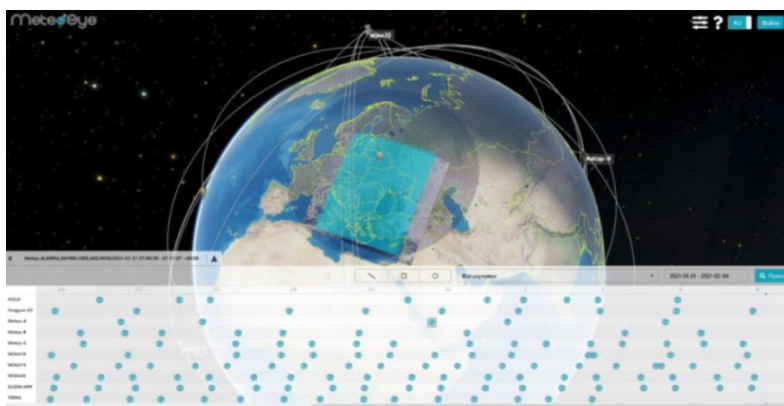


Рис. 2. Главная страница приложения просмотра и поиска оперативной космической информации

Fig. 2. Home page of the application for viewing and searching operational space information

⁴NASA – Direct Readout Laboratory [Electronic resource]. – Mode of access: <https://directreadout.sci.gsfc.nasa.gov/>. – Date of access: 19.04.2021.

⁵CSPP – CIMSS [Electronic resource]. – Mode of access: <https://cimss.ssec.wisc.edu/cspp/>. – Date of access: 19.04.2021.

⁶AAPP | NWP SAF [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.nwpsaf.eu/site/software/aapp/>. – Date of access: 19.04.2021.

Приложение имеет интерфейс на русском и английском языках, позволяет осуществлять поиск и просмотр полученной оперативной космической информации, мониторинг положения метеоспутников на орбите, их полосу обзора и зону радиовидимости антенны БКСДЗ. Для авторизованного пользователя также доступна загрузка базовых информационных ресурсов и просмотр статистики по загруженным ресурсам.

Модуль визуализации оперативной космической информации в процессе приема данных (МВ ОКИ, Visualization.App) реализован как кроссплатформенное приложение с визуальной оболочкой, т. е. может запускаться на любой платформе (кроме мобильных платформ) с графическим интерфейсом пользователя (graphical user interface, GUI). Модуль предназначен для визуализации текущих сеансов приема в режиме реального времени, а также для возможности отображения уже выполненных сеансов приема, доступных на сервере в тот момент (рис. 3).

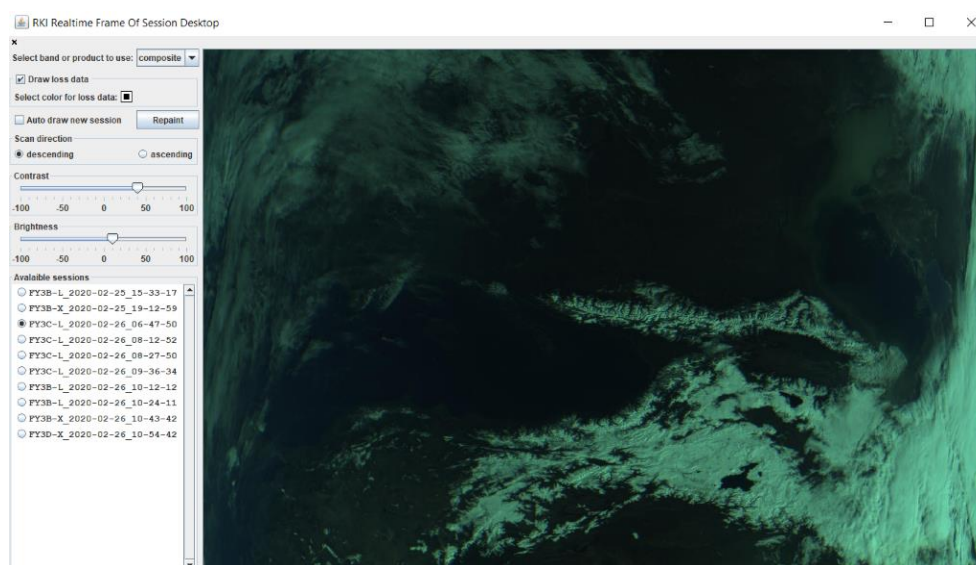


Рис. 3. Главная страница приложения визуализации оперативной космической информации в процессе приема данных

Fig. 3. Home page of the application for visualizing operational space information in the process of data receiving

Клиентское приложение планирования сеансов приема (КППСП, Planning.App) реализовано как веб-приложение и представляет собой интерфейс для управления сеансами приема.

Применение данных ПК «Прогноз ЗК». Признаком наличия растительности и ее состояния является спектральная отражательная способность, которой присущи большие различия при разных длинах волн. Знания о связи характеристик растительности с ее отражательной способностью позволяют использовать космические снимки для идентификации как типов растительности, так и ее состояния [1]. Вегетационный индекс – это показатель, рассчитываемый в результате математических операций с разными спектральными диапазонами (каналами) данных дистанционного зондирования и имеющий отношение к параметрам растительности в рассматриваемом пикселе изображения [2].

В настоящее время существует около 160 вариантов вегетационных индексов. Они подбираются экспериментально исходя из известных особенностей кривых спектральной отражательной способности растительности и почв [3]. Расчет большей части вегетационных индексов базируется на двух наиболее стабильных (не зависящих от прочих факторов) участках кривой спектральной отражательной способности растений. На красную зону спектра (0,62–0,75 мкм) приходится максимум поглощения солнечной радиации хлорофиллом, а на ближнюю инфракрасную зону (0,75–1,3 мкм) – максимум отражения энергии кле-

точной структурой листа, т. е. высокая фотосинтетическая активность, связанная, как правило, с большой фитомассой растительности, ведет к более низким значениям коэффициентов отражения в красной зоне спектра и большим значениям в ближней инфракрасной зоне. Хорошо известно, что отношение этих показателей друг к другу позволяет четко отделять растительность от прочих природных объектов [4]. В качестве вегетационного индекса выбран один из самых известных – нормализованный относительный индекс растительности (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI), который вычисляется по формуле [5]

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{RED}}{\text{NIR} + \text{RED}},$$

где NIR – отражение в ближней инфракрасной области спектра, RED – отражение в красной области спектра.

На основе NDVI можно получить полноценный спектральный анализ и выявить участки, которые нуждаются в пересеве, внесении средств защиты растений или удобрений. Индекс умеренно чувствителен к изменениям почвенного и атмосферного фона, кроме случаев с бедной растительностью, и может перенасыщаться в условиях густой растительности⁷.

Данные ДЗЗ для работы ПК «Прогноз ЗК» предоставляет ПК РОКИ в виде файла с расширением GeoTIFF (Float 32) (рис. 4).

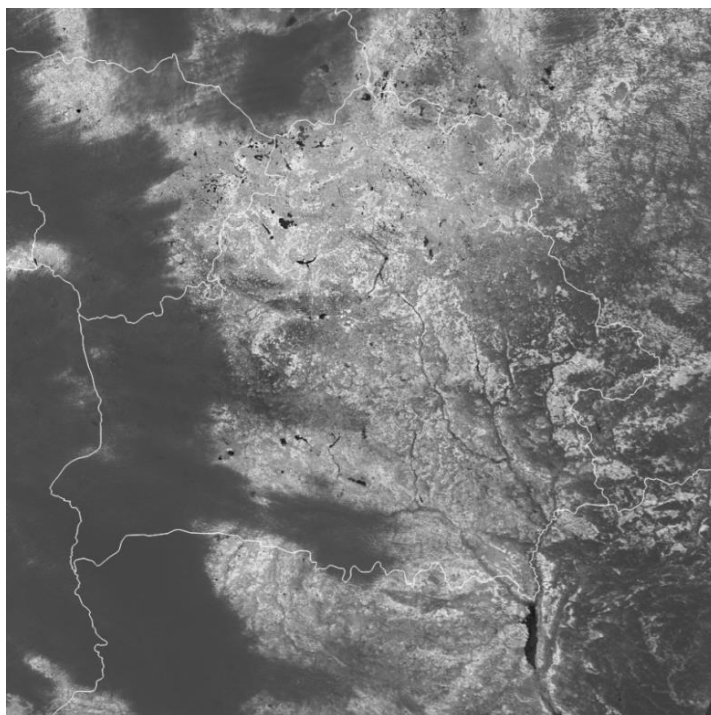


Рис. 4. Производный информационный ресурс NDVI по результатам обработки данных сеанса TERRA за 3 марта 2021 г.

Fig. 4. Derived information resource NDVI based on the results of data processing from the TERRA session on 3 March 2021

Взаимодействие ПК РОКИ и ПК «Прогноз ЗК» происходит следующим образом: ПК РОКИ осуществляет подготовку данных ДЗЗ с КА AQUA, SUOMI NPP, NOAA 20, MetOp, Fengyun-3, т. е. происходит дешифровка снимка и формирование результирующего изображения, содер-

⁷Вегетационные индексы NDVI, EVI, GNDVI, CVI, True Color [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.soft.farm/ru/blog/vegetacionnye-indeksy-ndvi-evi-gndvi-cvi-true-color-140>. – Дата доступа: 19.04.2021.

жащего нормализованный разностный вегетационный индекс NDVI. ПК «Прогноз ЗК» выполняет загрузку результирующего файла NDVI с данными по территории Республики Беларусь и формирование прогнозной информации на основе оперативного анализа вегетационного развития зерновых сельскохозяйственных культур в пределах административных районов Республики Беларусь. На рис. 5 показана средняя оправдываемость такого метода прогнозирования урожайности зерновых культур, рассчитанная в ПК «Прогноз ЗК» за 2015–2019 гг.

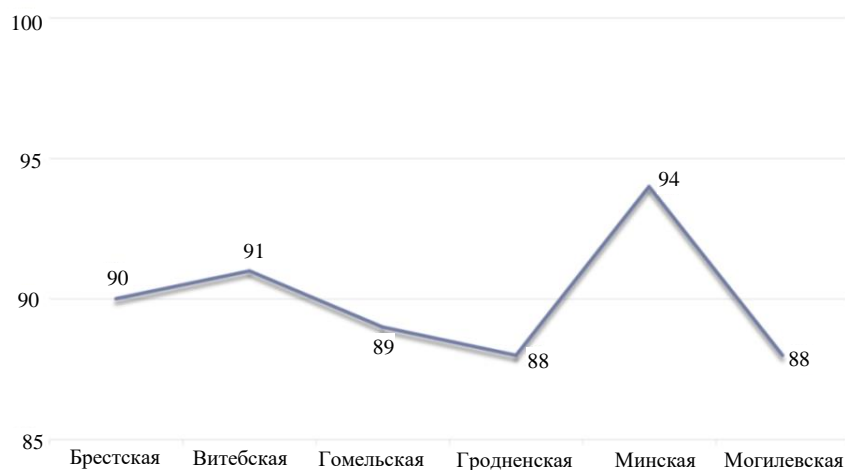


Рис. 5. Средняя оправдываемость прогноза урожайности зерновых культур, %

Fig. 5. Average justifiability of grain yield forecast, %

Заключение. На современном этапе развития науки, техники и технологий требуется не столько получение и обработка данных ДЗЗ Национальным оператором БКСДЗ в соответствии с заранее заданными потребителями параметрами, сколько создание специализированных клиентских приложений и сервисов, позволяющих заинтересованным ученым и специалистам выполнять тематическую обработку данных ДЗЗ, изменяя определенным образом параметры обработки данных, и самостоятельно анализировать полученную информацию. Для решения этой актуальной задачи в рамках государственной программы «Научеёмкие технологии и техника» на 2016–2020 гг. был создан ПК РОКИ.

ПК РОКИ уже сегодня применяется для решения научных и прикладных задач в различных областях знаний. Он обеспечивает возможность поиска и выборки необходимых пользователям спутниковых данных и предоставляет различные способы, позволяющие проводить удаленный анализ спутниковой информации.

С момента тестового запуска 18 июля 2019 г. и в последующий период эксплуатации ПК РОКИ, который продлится до конца февраля 2021 г., уже принято более 7500 сеансов с КА AQUA, TERRA, SUOMI NPP, NOAA 20, MetOp A/B/C, NOAA 18, NOAA 19 и Feng-Yun 3D. ПК РОКИ является источником данных ДЗЗ для работы ПК «Прогноз ЗК».

При создании распределенной системы приема, обработки и распространения оперативной космической информации с КА изначально был заложен принцип дальнейшего совершенствования и развития, что позволяет с определенной периодичностью проводить улучшения ПК РОКИ в соответствии с новыми требованиями, выдвигаемыми современными исследованиями и практикой применения как отдельных модулей, так и информационной системы в целом.

Вклад авторов. С. А. Золотой – обоснование концепции и актуальности статьи; И. Б. Страшко – консультирование по вопросам создания ПК РОКИ; Д. С. Котов – обзор и аналитический анализ статьи, формулирование выводов; И. М. Нестерович – сбор, анализ и обобщение данных; В. В. Рубо – сбор и систематизация данных; К. И. Костюк – сбор и систематизация данных, интерпретация результатов применения данных ПК «Прогноз ЗК».

Список использованных источников

1. Черепанов, А. С. Вегетационные индексы / А. С. Черепанов // Геоматика. – 2011. – № 2. – С. 98–102.
2. Воронина, П. В. Классификация тематических задач мониторинга сельского хозяйства с использованием данных дистанционного зондирования MODIS / П. В. Воронина, Е. А. Мамаш // Вычислительные технологии. – 2014. – Т. 19, № 3. – С. 76–102.
3. Чаюк, А. И. Оценка динамики состояния растительности с использованием вегетационных индексов [Электронный ресурс] / А. И. Чаюк, Н. В. Клебанович. – Режим доступа: <https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/148510/1/edvuvi.pdf>. – Дата доступа: 19.04.2021.
4. Черепанов, А. С. Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы / А. С. Черепанов, Е. Г. Дружинина // Геоматика. – 2009. – № 3. – С. 28–32.
5. Боровлев, А. Ю. Вегетационный индекс как инструмент количественной оценки территорий, подвергнутых сплошным рубкам леса [Электронный ресурс] / А. Ю. Боровлев, Н. В. Шуктомов, Ю. А. Паутов. – Режим доступа: http://spbftu.ru/site/upload/201612201741_Borovlev_1.pdf. – Дата доступа: 19.04.2021.

References

1. Cherepanov A. S. *Vegetation indices data*. Geomatika [Geomatics], 2011, no. 2, pp. 98–102 (In Russ.).
2. Voronina P. V., Mamash E. A. *Classification of thematic monitoring for agriculture problems using remote sensing MODIS data*. Vychislitel'nye tehnologii [Computational Technologies], 2014, vol. 19, no. 3, pp. 76–102 (In Russ.).
3. Chayuk A. I., Klebanovich N. V. *Otsenka dinamiki sostoyaniya rastitel'nosti s ispol'zovaniyem vegetatsionnykh indeksov*. Assessment of the dynamics of the state of vegetation using vegetation indices. Available at: <https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/148510/1/edvuvi.pdf> (accessed 19.04.2021).
4. Cherepanov A. S., Druzhinina E. G. *Spectral properties of vegetation and vegetation indices data*. Geomatika [Geomatics], 2009, no. 3, pp. 28–32 (In Russ.).
5. Borovlev A. Ju., Shuktomov N. V., Pautov Ju. A. *Vegetacionnyj indeks kak instrument kolichestvennoj ocenki territorij, podvergnutyh sploshnym rubkam lesa*. Vegetation Index as a Tool for Quantitative Assessment of Territories Subjected to Continuous Logging. Available at: http://spbftu.ru/site/upload/201612201741_Borovlev_1.pdf (accessed 19.04.2021).

Информация об авторах

Золотой Сергей Анатольевич, кандидат технических наук, директор, УП «Геоинформационные системы».

E-mail: gis@gis.by

Страшко Игорь Болеславович, заместитель директора по производству, УП «Геоинформационные системы».

E-mail: IStrashko@gis.by

Котов Дмитрий Сергеевич, кандидат технических наук, ученый секретарь, УП «Геоинформационные системы».

E-mail: dkotau@gis.by

Нестерович Ирина Максимовна, младший научный сотрудник отдела инновационных технологий, УП «Геоинформационные системы».

E-mail: nesterovichirina20@gmail.com

Рoubо Виталий Вильгельмович, начальник отдела инновационных технологий, УП «Геоинформационные системы».

E-mail: vroubo@gis.by

Костюк Каролина Ивановна, заведующий сектором лаборатории биоинформатики, Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси.

E-mail: kostyukkarolina@gmail.com

Information about the authors

Sergey A. Zolotoy, Cand. Sci. (Eng.), Director, UE "Geoinformation Systems".

E-mail: gis@gis.by

Igor B. Strashko, Deputy Director for Production Affairs, UE "Geoinformation Systems".

E-mail: IStrashko@gis.by

Dzmitry S. Kotau, Cand. Sci. (Eng.), Scientific Secretary, UE "Geoinformation Systems".

E-mail: dkotau@gis.by

Iryna M. Nestsiarovich, Junior Research Scientist of the Department of Innovative Technologies, UE "Geoinformation Systems".

E-mail: nesterovichirina20@gmail.com

Vitali V. Rouba, Head of the Department of Innovative Technologies, UE "Geoinformation Systems".

E-mail: vroubo@gis.by

Karolina I. Kostyuk, Head of the Bioinformatics Laboratory Sector, The United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus.

E-mail: kostyukkarolina@gmail.com